Empreendedorismo e Inovação na Engenharia Florestal 3

Cristina Aledi Felsemburgh
(Organizadora)

Ano 2021

Empreendedorismo e Inovação na Engenharia Florestal 3

Cristina Aledi Felsemburgh
(Organizadora)

Ano 2021

Ano 2021

Atena
Editora

Atena
Editora
Ano 2021

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Empreendedorismo e inovação na engenharia florestal 3

Editora Chefe:	Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária:	Janaina Ramos
Diagramação:	Maria Alice Pinheiro
Correção:	Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte:	Luiza Alves Batista
Revisão:	Os Autores
Organizadora:	Cristina Aledi Felsemburgh

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E55 Empreendedorismo e inovação na engenharia florestal 3 / Organizadora Cristina Aledi Felsemburgh. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-963-9
DOI 10.22533/at.ed.639211404

1. Engenharia Florestal. I. Felsemburgh, Cristina Aledi (Organizadora). II. Título.

CDD 634.928

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

Ano 2021

APRESENTAÇÃO

É com enorme prazer que apresentamos o e-book "Empreendedorismo e Inovação na Engenharia Florestal 3" elaborado para a divulgação de resultados e avanços relacionados às Ciências Florestais. O e-book está disposto em 1 volume subdividido em 10 capítulos. Os capítulos estão organizados de acordo com a abordagem por assuntos relacionados com diversas áreas da Engenharia Florestal. Em uma primeira parte, os capítulos estão de forma a atender as áreas voltadas à viabilidade de sementes, biopromotores, propagação vegetativa e crescimento e desenvolvimento de mudas. Em uma segunda parte, os trabalhos estão estruturados aos temas relacionados aos serviços ecossistêmicos, restauração florestal e mudança climática. Em uma terceira parte, os trabalhos referem-se a gestão florestal, manejo florestal, manejo de povoamentos e seleção de indivíduos arbóreos. E finalizando, em uma quarta parte, com trabalhos voltados aos processos produtivos e transformação de matéria-prima de produtos não madeireiros. Desta forma, o e-book "Empreendedorismo e Inovação na Engenharia Florestal 3" apresenta relevantes resultados realizados por diversos professores e acadêmicos que serão apresentados nesta obra de forma didática. Agradecemos o empenho e dedicação de todos os autores das diferentes instituições de ensino e pesquisa, por partilharem ao público os resultados dos trabalhos desenvolvidos por seus grupos de pesquisa. Esperamos que os trabalhos aqui apresentados possam inspirar outros estudos voltados às Ciências Florestais.

Cristina Aledi Felsemburgh

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

APLICAÇÃO DE BIOPROMOTORES NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Handroanthus impetiginosus* Mart

Data de aceite: 01/04/2021
Data de submissão: 08/03/2021

Julia Isabella de Matos Rodrigues
Universidade Federal Rural da Amazônia, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/8014030704078011

Luana Rodrigues Vieira
Universidade Federal Rural da Amazônia, Graduação em Engenharia Florestal em andamento
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/4999008858773896

Walmer Bruno Rocha Martins
Universidade Federal Rural da Amazônia, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/4159864563302567

Luan Lucas Ferreira Baia
Universidade Federal Rural da Amazônia, Graduação em Engenharia Florestal em andamento
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/3833576743319972

Ricardo Christin Lobato Machado
Universidade Federal Rural da Amazônia, Programa de pós-graduação em Ciências Florestais
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/5088840008158777

Wendell José Barbosa Silva Filho
Universidade Federal Rural da Amazônia, Graduação em Engenharia Florestal em andamento
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/2364138489548450

Luana Vanessa da Silva Chaves
Universidade Federal Rural da Amazônia, Graduação em Engenharia Florestal em andamento
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/9072175667361150

Gisele Barata da Silva
Universidade Federal Rural da Amazônia, Laboratório de Produção de Plantas
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/7941075213053812

RESUMO: A espécie *Handroanthus impetiginosus* Mart possui diversos atributos que lhe conferem destaque na arborização urbana, construção civil e projetos de restauração de áreas degradadas. Por isso, otimizar a produção de mudas, por meio da inoculação de biopromotores de crescimento, é indispensável. Dentre os microrganismos mais utilizados nesse processo, destacam-se o fungo do gênero *Trichoderma,* e as bactérias *Burkholderia pyrrocinia* e *Bacillus subtilis.* Entretanto, comparar a eficácia destes microrganismos é necessário nesse processo de otimização. Nesse cenário, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros de crescimento de mudas sob 3 tratamentos com aplicação de microrganismos (MIX, R46 e R92) e comparar

com um tratamento controle (sem aplicação de microrganismos). Para isso, realizou-se um delineamento inteiramente casualizado de 3 tratamentos com aplicação de microrganismos e 1 controle (sem aplicação), contendo 5 repetições cada, onde após 60 dias de germinação, avaliou-se os parâmetros altura da muda (cm), diâmetro do coleto (mm) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD). O tratamento MIX e R92 apresentaram melhores parâmetros para desenvolvimento das mudas de *H. impetiginosus,* demonstrando-se promissores na produção de mudas. Todavia, o baixo custo para cultivo de *Trichoderma* torna-o mais indicado neste processo. O tratamento R46 apresentou os piores parâmetros, não sendo recomendado seu uso na produção de mudas da espécie em questão. O trabalho evidenciou diferenças entre o desempenho de biopromotores de crescimento no desenvolvimento das mudas.
PALAVRAS - CHAVE: Produção de mudas, Ipê-roxo, Inoculação de microrganismos, Rizobactérias e *Trichoderma*.

APPLICATION OF BIOPROMOTORS IN THE GROWTH OF SEEDLINGS OF *Handroanthus impetiginosus* Mart

ABSTRACT: The *Handroanthus impetiginosus* Mart species has several attributes that make it stand out in urban afforestation, civil construction and restoration projects in degraded areas. For this reason, optimizing the production of seedlings, through the inoculation of growth biopromotors, is indispensable. Among the microorganisms most used in this process, the fungus of the genus *Trichoderma* and the bacteria *Burkholderia pyrrocinia* and *Bacillus subtilis* stand out. However, comparing the effectiveness of these microorganisms is necessary in this optimization process. In this scenario, the objective of this work was to evaluate the growth parameters of seedlings under 3 treatments with application of microorganisms (MIX, R46 and R92) and compare with a control treatment (without application of microorganisms). For this, a completely randomized design was carried out of 3 treatments with the application of microorganisms and 1 control (without application), containing 5 replicates each, where after 60 days of germination, the parameters height of seedling (cm), diameter of the collection (mm) and Dickson's Quality Index (IQD). The MIX and R92 treatment showed better parameters for the development of H. impetiginosus seedlings, showing promise in the production of seedlings. However, the low cost of cultivating Trichoderma makes it more suitable in this process. The R46 treatment presented the worst parameters, and its use in the production of seedlings of the species in question was not recommended. The work showed differences between the performance of growth biopromoters in the development of seedlings.
KEYWORDS: Seedling production, Ipê-roxo, Inoculation of microorganisms, Rhizobacteria and Trichoderma.

1 I INTRODUÇÃO

A espécie *Handroanthus impetiginosus* Mart*.,* conhecida pelos nomes comuns "ipê-roxo" e "pau d'arco", destaca-se pela floração, sendo muito utilizada na arborização urbana (TJHIO CESAR PESTANA; MACEDO ALVES; BAGNATORI SARTORI, 2019). Também possui considerável importância econômica em virtude das propriedades tecnológicas da madeira favoráveis para a construção civil e naval (MEDEIROS NETO; DE OLIVEIRA;

PAES, 2014)but there are few studies on the relationship between of the characteristics of wood and its energy potential. Therefore, this study aimed to relate the characteristics of wood and charcoal of Poincianella pyramidalis and Handroanthus impetiginosus species. To this end, five trees of each species were felled, and parts of 30cm in length were removed at 0 (base. Além disso, a espécie apresenta ampla distribuição geográfica no Brasil, justificada pela capacidade de adaptação às diversas condições climáticas e à tolerância a metais pesados (GAI; DOS SANTOS; VIEIRA, 2017). Nesse cenário, apesar de não ser nativa da Amazônia, o plantio desta espécie é muito utilizada em projetos de restauração florestal na região (MARTINS et al., 2020).

Por esses motivos, a utilização de métodos que otimizem a produção de mudas de *H. impetiginosus* são indispensáveis. Dentre os métodos, tem-se a utilização de rizobactérias e fungos promotores de crescimento em plantas (SILVEIRA; FREITAS, 2007). Dentre as espécies de microrganismos utilizados, destaca-se o fungo do gênero *Trichoderma,* e as bactérias *Burkholderia pyrrocinia* e *Bacillus subtilis,* os quais contribuem significativamente para o melhor desenvolvimento da parte aérea e biomassa de raiz, além de aumentar consideravelmente a produtividade (SILVA et al., 2020). Outro benefício da utilização de microrganismos é a redução no uso de fertilizantes químicos (GAZOLA et al., 2017).

Entretanto, estudos que comparam a eficácia no crescimento vegetal após aplicação dos microrganismos tornam-se necessários. Sendo assim, buscando responder a seguinte questão científica: qual microrganismo promotor de crescimento tem maior contribuição para o desenvolvimento das mudas de *Handroanthus impetiginosus* Mart.? Partindo da hipótese de que se todos os microrganismo aplicados são promotores de crescimento, então eles promovem o aumento do desenvolvimento das mudas. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os parâmetros de crescimento (altura, diâmetro do coleto e biomassa de raíiz e parte aérea) de mudas sob 3 tratamentos com aplicação de microrganismos (MIX, R46 e R92) e comparar com um tratamento controle (sem aplicação de microrganismos).

2 I MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O experimento foi conduzido em ambiente controlado, na unidade de produção de mudas de viveiro da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) (01° 27′25 ″ S, 48 ° 26′36″ O) em Belém (PA). O clima regional de acordo com a classificação de Köppen é Af (equatorial). Os isolados de *Burkholderia pyrrocinia* (R46), *Bacillus subtilis* (R92) e Mix de *Trichoderma* (MIX) foram provenientes da coleção de microrganismos do Laboratório de Proteção de Plantas da mesma universidade.

2.2 Cultivo e Inoculação de Microrganismos

As rizobactérias foram cultivadas em placas de Petri com meio de cultura sólido 523 (Kado & Heskett, 1970) e incubadas por 24 horas a 28 °C. A suspensão bacteriana foi preparada em água estéril e ajustada no espectrofotômetro a 550 nm (108 UFC). O fungo foi multiplicado em placas de Petri contendo o meio de cultura BDA (batata, dextrose e ágar) em seguida, as placas foram incubadas em uma câmara de crescimento por 96 h a aproximadamente 28 ºC. Após a obtenção do isolado foi preparado suspensão aquosa de esporos com concentração de 108 esporos ml^{-1}. A inoculação dos microrganismos foi feita por meio de rega 14 dias após a emergência das plântulas, cada saco de polietileno recebeu uma suspensão de 5 ml.

2.3 Coleta de Dados

Foi utilizado um delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com 4 tratamentos, sendo 3 com aplicação de microrganismos promotores de crescimento (R46, R92 e MIX), e 1 tratamento controle (sem aplicação de microrganismos). Cada tratamento conteve 5 repetições. Após 60 dias da emergência de plântulas, com uma régua, mediu-se altura das mudas (cm), e com um paquímetro, o diâmetro do coleto (mm). A massa seca do material foi pesada em balança de precisão, e posteriormente, secada em estufa (60 °C) até massa constante. O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi calculado por meio da Eq. 1 (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960).

$$IQD = \frac{MST}{DC + RPAR} \qquad Eq. 1$$

Onde:

IQD= Índice de Qualidade de Dickson

MST= Massa seca total

DC= Diâmetro do coleto

RPAR= Relação parte aérea-raiz

2.4 Análise de Dados

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p>0,05$) e ao teste de homocedasticidade de variância de Bartlett ($p>0,05$). Atendidos esses pressupostos, aplicou-se a Análise de Variância ($p<0.05$) e, quando significativa, realizou-se teste de Tukey ($p<0,05$) para comparação entre tratamentos. As análises foram realizadas no Microsoft Excel e Software estatístico R core Team, versão 4.0.3.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do teste de Tukey ($F_{3;16}$= 9,42; p<0,05), constatamos que apenas a inoculação de R46 não diferiu estatisticamente do tratamento controle para os parâmetros altura (cm) e diâmetro do coleto (mm). Os demais, promoveram aumentos expressivos para altura e diâmetro do coleto das mudas de *H. impetiginosus* (Figura 1).
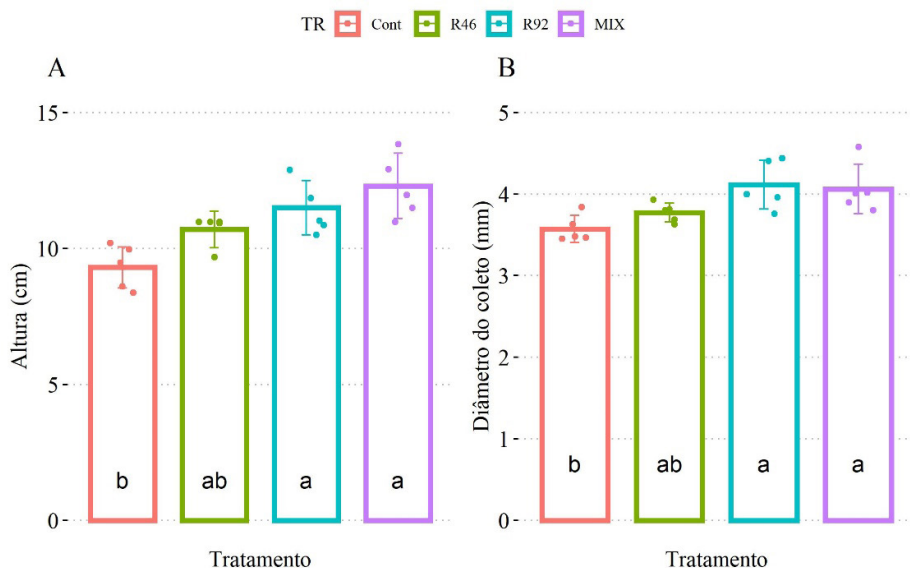
Figura 1. Média de altura (cm) (A) e diâmetro do coleto (mm) (B) das mudas de *Handroanthus impetiginosus* Mart. após inoculação de microrganismos promotores de crescimento. Letras iguais entre os tratamentos não diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (p<0,05).

Para biomassa os resultados foram semelhantes, pois a massa fresca aérea das mudas com aplicação de R46 também não diferiu do tratamento controle ($F_{3;16}$=18,91; p-value= 0,528) (Fig. 2A) e as inoculações de MIX de *Trichoderma* e R92 promoveram incrementos significativos na massa fresca aérea das mudas, diferindo estatisticamente do tratamento controle ($F_{3;16}$=18,91; p-value<0,05) (Fig. 2A). Não houve diferença entre os tratamentos MIX e R92 ($F_{3;16}$=18,91; p-value= 0,105). Já para massa fresca de raiz, todos os tratamentos com aplicações de microrganismos foram superiores ao controle ($F_{3;16}$=22,79; p-value<0,05), porém MIX e R92 apresentaram os maiores valores médios, sendo 2,70g e 2,63g, respectivamente.

Na massa fresca total, a aplicação de MIX de *Trichoderma* apresentou o melhor desempenho ($F_{3;16}$=14,07; p-valor<0,05), com 5,04g. Para massa seca, MIX e R92 foram mais eficientes no desenvolvimento da parte aérea, diferindo estatisticamente do controle

($F_{3;16}$= 7,57; p-value<0,05). Para raiz, todos os tratamentos foram maiores do que o controle ($F_{3;16}$= 7,57; p-value<0,05) e para massa seca total, apenas R46 não diferiu do controle ($F_{3;16}$= 7,57; p-value=0,298).
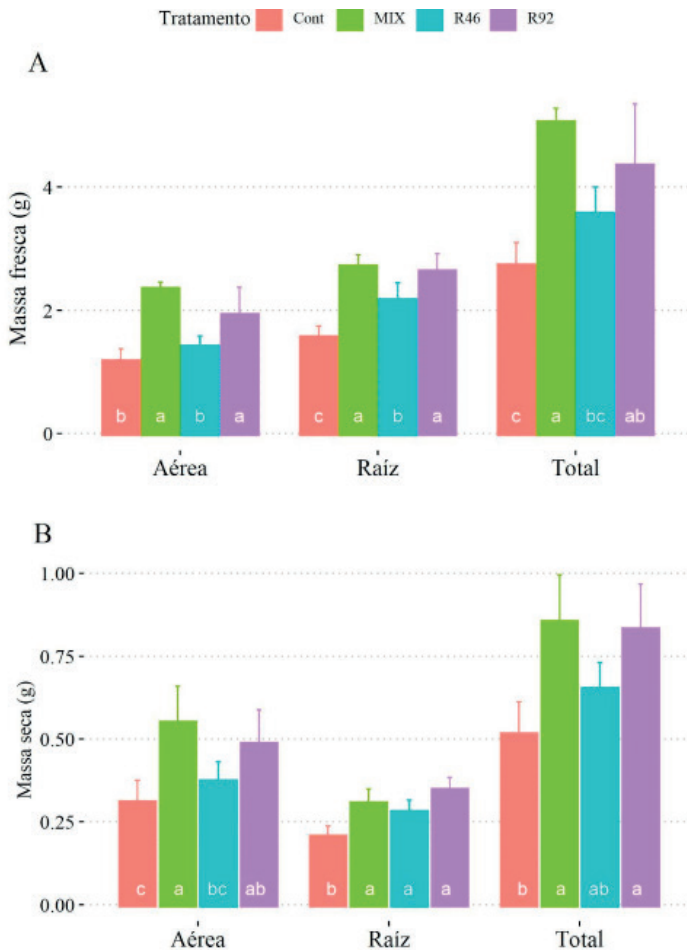
Figura 2. Massas fresca (A) e seca (B) de raiz e parte aérea das mudas de *Handroanthus impetiginosus* Mart., e seus respectivos tratamentos. Letras iguais para os parâmetros avaliados em cada tratamento não diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (p<0,05).

Os índices de qualidade de Dickson foram superiores nas mudas dos tratamentos MIX e R92 ($F_{3;16}$=8,18; p-value<0,05). Apenas R46 não diferiu do tratamento controle ($F_{3;16}$=8,18; p-value=0,234) (Tabela 1).

Trat	IQD
MIX	0,1768a
R46	0,1552ab
R92	0,1978a
Cont	0,1244b

Tabela 1. Índice de qualidade de Dickson para as mudas de *Handroanthus impetiginosus* Mart e seus respectivos tratamentos. Letras iguais não diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey ($p<0,05$).

Os tratamentos MIX e R92 demonstram melhores efeitos sobre o crescimento das mudas de *H. impetiginosus*, porém o primeiro tratamento destacou-se em todos os parâmetros avaliados. A melhoria significativa no desenvolvimento das mudas, promovido pelos tratamentos MIX e R92*,* deve-se à produção de hormônios de crescimento vegetal, como as auxinas, que estimulam o crescimento da planta (HOYOS-CARVAJAL; ORDUZ; BISSETT, 2009). Entretanto, o *Trichoderma* possui um diferencial, que está relacionado às alterações na arquitetura do sistema radicular, com o aumento de raízes laterais e pelos radiculares (ASARI et al., 2017), promovendo perceptivelmente, um desempenho deste fungo no crescimento em raiz e parte aérea da muda.

A melhor evolução das plantas com o tratamento MIX também pode ter ocorrido devido à capacidade que do fungo em solubilizar e utilizar com maior eficiência os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta, como P, N e Fe, por exemplo (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960). Além disso, o baixo custo para cultivo do fungo somado à ação contra patógenos, promovida por ele, demonstram-se pontos fundamentais para a utilização deste biopromotor na produção de mudas, sobretudo na Amazônia, onde o clima quente-úmido favorece o ataque de patógenos nas plantas.

O fungo *Trichoderma* é encontrado na rizosfera, por isso possui a capacidade de se desenvolver associados às raízes, estimulando o desenvolvimento da planta (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960). Todos os biopromotores apresentam mecanismos diretos e indiretos no crescimento vegetal, porém, a baixa eficiência do tratamento com R46 torna perceptível a variação no desempenho desta bactéria de acordo com as características físico-químicas do ambiente (MACHADO et al., 2015). Sendo assim, provavelmente devido às condições desfavoráveis para o desenvolvimento da bactéria, a presença de outros microrganismos no substrato promoveu uma competição, diminuindo significativamente seu desempenho como biopromotor de crescimento (Fig. 3B). Em condições favoráveis, essa bactéria atua principalmente no desenvolvimento das raízes, contribuindo para melhor absorção dos nutrientes, e consequentemente, no crescimento da planta (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960). Sendo assim, por meio do teste Tukey ($p<0,05$) a hipótese de que todos os microrganismos aplicados contribuem igualmente para o crescimento das mudas não foi aceita.

4 I CONCLUSÃO

A utilização de mix de *Trichoderma* na produção de mudas de *Handroanthus impetiginosus* Mart demonstra-se uma alternativa promissora na redução de fertilizantes químicos, tendo em vista a eficácia significativa deste biopromotor de crescimento de plantas, aliado ao baixo custo para o cultivo. Para outros trabalhos, recomenda-se que a influência do ambiente sobre o desempenho de R46 seja avaliado.

REFERÊNCIAS

ASARI, S. et al. Analysis of plant growth-promoting properties of Bacillus amyloliquefaciens UCMB5113 using Arabidopsis thaliana as host plant. **Planta**, v. 245, n. 1, p. 15–30, 2017.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. QUALITY APPRAISAL OF WHITE SPRUCE AND WHITE PINE SEEDLING STOCK IN NURSERIES. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10–13, 1 mar. 1960.

GAI, A. P. C.; DOS SANTOS, D. S.; VIEIRA, E. A. Effects of zinc excess on antioxidant metabolism, mineral content and initial growth of Handroanthus impetiginosus (Mart. ex DC.) Mattos and Tabebuia roseoalba (Ridl.) Sandwith. **Environmental and Experimental Botany**, v. 144, p. 88–99, dez. 2017.

GAZOLA, T. et al. EFEITOS DA INOCULAÇÃO DE Azospirilium brasilense EM ÁREA DE PASTAGEM. **Revista Unimar Ciências**, v. 24, n. 1–2, p. 40–48, 2017.

HOYOS-CARVAJAL, L.; ORDUZ, S.; BISSETT, J. Growth stimulation in bean (Phaseolus vulgaris L.) by Trichoderma. **Biological Control**, v. 51, n. 3, p. 409–416, 2009.

MACHADO, D. F. M. et al. Trichoderma spp. na emergência e crescimento de mudas de cambará (Gochnatia polymorpha (Less.) Cabrera). **Revista Arvore**, v. 39, n. 1, p. 167–176, 2015.

MARTINS, W. B. R. et al. Survival , growth and regeneration of forest species in mining areas in the Eastern Amazonia. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, p. 1–13, 2020.

MEDEIROS NETO, P. N.; DE OLIVEIRA, E.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da caatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 484–493, 2014.

SILVA, M. A. et al. Individual and combined growth-promoting microorganisms affect biomass production, gas exchange and nutrient content in soybean plants. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 619–632, 2020.

SILVEIRA, A. P. D. DA; FREITAS, S. DOS S. **Microbiota do Solo e Qualidade do Solo**. [s.l: s.n.].

TJHIO CESAR PESTANA, L.; MACEDO ALVES, F.; BAGNATORI SARTORI, Â. L. Espécies Arbóreas Da Arborização Urbana Do Centro Do Município De Campo Grande, Mato Grosso Do Sul, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 3, p. 01, 2019.

CAPÍTULO 2

ENVELHECIMENTO ACELERADO: INFLUÊNCIA NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *HANDROANTHUS HEPTAPHYLLUS* (VELL.) MATTOS

Data de aceite: 01/04/2021
Data de submissão: 15/03/2021

João Lucas Sauma Alvares
Universidade Federal Rural da Amazônia
UFRA
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/2898730624616967

Dênmora Gomes de Araujo
Universidade Federal Rural da Amazônia
UFRA
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/0359372594622313

Elson Junior Souza da Silva
Universidade de São Paulo - USP
Piracicaba – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/9635820644380732

Denner Roberto Sacramento dos Santos
Universidade Federal Rural da Amazônia
UFRA
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/7603325089085381

RESUMO: *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, popularmente conhecido como ipê rosa, é uma árvore nativa do Brasil com uma crescente relevância em atividades paisagísticas, exigindo análises constante dos lotes de sementes. Nesse contexto, a câmara de envelhecimento acelerado é uma alternativa para analisar o vigor das sementes em função de prever seu potencial de armazenamento. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do envelhecimento acelerado na germinação de sementes de *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos. As sementes foram colocadas em uma câmara de envelhecimento para o ensaio a uma temperatura de 40 ° C e 95% de umidade relativa durante 24, 48, 72, 96 e 120 horas. Sementes recém-coletadas foram usadas como tratamento de controle. Os períodos de exposição de 0, 24 e 48 horas não afetam a germinação das sementes. Porém, o desempenho germinativo de sementes de *H. heptaphyllus* é afetado negativamente após 96 horas de exposição ao teste de envelhecimento acelerado.
PALAVRAS - CHAVE: desempenho germinativo, envelhecimento acelerado, ipê rosa.

ACCELERATED AGING: INFLUENCE ON THE SEED GERMINATION OF *HANDROANTHUS HEPTAPHYLLUS* (VELL.) MATTOS.

ABSTRACT: *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, popularly known as ipê rosa, is a tree native to Brazil with a crescent activity in landscaping, thus requiring constant analysis of the seed lots. In this context, the accelerated aging chamber is an alternative for analyzing seeds' vigor in virtue and predicting their storage potential. Thus, this study aimed to evaluate the influence of accelerated aging on the germination of *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos seeds. The seeds were placed in an aging chamber for the test at a temperature of 40 ° C and 95 % relative humidity during 24, 48, 72, 96, and 120 hours. As a control treatment, freshly collected seeds were

used. Exposure periods of 0, 24, and 48 hours do not affect seed germination. However, the germinative performance of H. heptaphyllus seeds is negatively affected after 96 hours of exposure to the accelerated aging test.
KEYWORDS: germinative performance, accelerated aging, ipê rosa.

1 I INTRODUÇÃO

Handroanthus heptaphyllus (Vell.) Mattos é uma árvore nativa do Brasil que ocorre em florestas do tipo estacional semidecidual e ombrófila (REFLORA, 2020). Além disso, é uma espécie de grande relevância para o paisagismo de cidades (CARVALHO, 2003).

Segundo Shibata (2012) os trabalhos de pesquisa relacionados a deterioração de sementes durante o armazenamento sofrem limitações de tempo necessário para a realização desses estudos. Assim, o envelhecimento artificial de sementes torna-se uma alternativa de procedimento técnico usado em estudos de deterioração.

Esse teste é considerado um método indireto de avaliação, haja vista que, por meio das altas taxas de respiração e do consumo das reservas há a verificação dos resultados dos processos metabólicos (MORAES et al., 2016).

No entanto, antes de realizar uma avaliação de um lote por meio da câmara do envelhecimento deve-se atentar a temperatura, umidade relativa e tempo, desse modo, permitindo o teste detectar possíveis diferenças na qualidade fisiológica de lotes de sementes, a exemplo na capacidade germinativa (FLÁVIO e PAULA, 2010).

Diante do exposto esse trabalho teve como objetivo avaliar a influência do envelhecimento acelerado na germinação de sementes de *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos.

2 I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As análises de viabilidade de sementes são fundamentais para qualquer atividade agrária tanto para pesquisa quanto para o mercado. Deste modo, testes rápidos são importantes para avaliar o potencial germinativo das espécies florestais, bem como para predizer o potencial de armazenamento das suas sementes (MATOS, 2017).

O teste de envelhecimento acelerado é uma alternativa para análises rápidas. Nesse teste as sementes são expostas à altas temperatura e umidade relativas o que simula condições favoráveis à deterioração das sementes (ATAÍDE; FLORES; BORGES, 2012). Assim, por meio deste teste é possível predizer potencial de armazenamento das sementes (MATOS, 2017). Além disso, é uma opção eficiente para mensurar a capacidade de germinação das sementes e vigor (FERREIRA, 2016)

Matos (2017) trabalhando com sementes de *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos, Cardoso et al. (2010) com *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standl e Garcia et al. (2004) com *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. cebil realizaram o experimento e relataram a redução do poder germinativo com a elevação da temperatura. No entanto, Shibata (2012)

trabalhando com sementes de *Handroanthus albus* (Cham.) Mattos teve um acréscimo no poder germinativo das sementes em períodos mais elevados o que demostra uma disparidade de comportamento entre as espécies.

3 I METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal Rural da Amazônia (campus Belém), no estado do Pará. As sementes foram coletadas de matrizes localizadas em 1°26’02” S e 48°27’25” W nas proximidades do Jardim Botânico Bosque Rodrigues Alves na cidade de Belém, estado do Pará.

Para o teste de envelhecimento acelerado, as sementes foram colocadas dentro de sacos de poliéster. Em seguida foram acondicionadas em câmara de envelhecimento a uma temperatura de 40° C e umidade relativa em torno de 95%, durante os períodos de 24, 48, 72, 96 e 120 horas. Como tratamento controle (período 0) foram utilizadas sementes recém-coletadas.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes por tratamento. Após permanecerem na câmara de envelhecimento nos tempos determinados, as sementes foram retiradas e submetidas ao teste de germinação. As mesmas foram semeadas em substrato vermiculita. As regas diárias foram feitas com a mesma quantidade de água para todas as repetições pelo período de 30 dias de observações consecutivas.

As avaliações foram feitas diariamente e o resultado de germinação foi expresso em porcentagem média de plântulas normais para cada tempo de exposição. Foi avaliado também o Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) obtido por meio de contagens diárias do número plântulas emergidas e quantificadas durante a emergência até o final do experimento, de acordo com a equação de Maguire (1962):

$$IVE = (E1/N1) + (E2/N2) + ... + (En/Nn)$$

Onde:

IVE = índice de velocidade de Emergência.

E1, E2, ..., En = número de plântulas emergidas, na primeira, segunda, ..., última contagem.

N1, N2, …, Nn = número de dias desde a semeadura na primeira, segunda, ..., última contagem.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os períodos de exposição de 0, 24 e 48 horas não afetaram negativamente a germinação de sementes de *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos, entretanto, posteriormente a esse tempo houve um decréscimo na germinação das sementes (Figura 1). Esse fator pode estar relacionado com a deterioração mais acelerada das sementes expostas ao teste, conforme relatado por Guedes et al (2011). Resultados similares foram obtidos por Borges et al. (1992) com sementes de *Piptadenia communis* quando submetidas ao envelhecimento acelerado à temperatura 40 °C e 100% de UR. Segundo esses autores, a temperatura de 40 °C, causou o declínio na germinação com o aumento do tempo de exposição. A deterioração das sementes pode ser acelerada em condições de altas temperaturas e umidade relativa em virtude do consumo das reservas e aumento da taxa de respiração da semente o que afeta diretamente os processos metabólicos influenciando a sua germinação (MORAES et al, 2016).
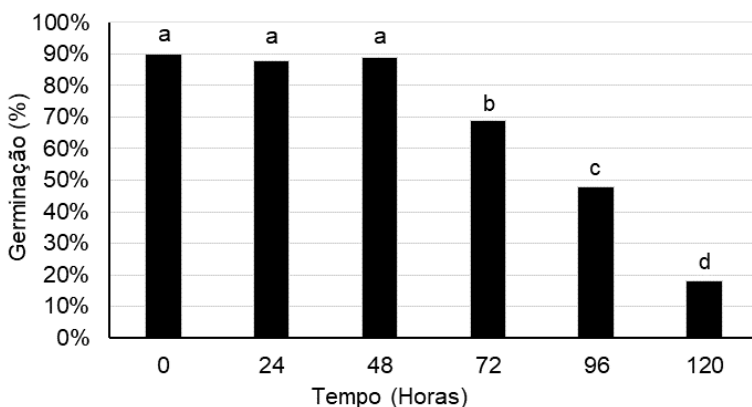
Figura 01. Germinação (%) de sementes de *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos antes e após teste de envelhecimento acelerado por 24, 48, 72, 96 e 120 horas.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, no topo das colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autores (2020).

A diminuição na porcentagem da germinação ocorreu conforme houve um aumento do tempo de permanência das sementes dentro da câmara de envelhecimento posterior a 48 horas. Houve uma redução de 20%, 40% e 70% nos tratamentos 72, 96 e 120 horas, respectivamente, comparando ao tratamento controle.

Os resultados encontrados neste estudo foram semelhantes aos de Matos (2017), Cardoso et al. (2010) e Garcia et al. (2004) com *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos, *Tabebuia*

impetiginosa (Mart. Ex DC) Standl e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. cebil, respectivamente, que obtiveram menores germinações em maiores tempos de exposição ao teste. No entanto, Shibata (2012) trabalhando com sementes de *H. albus* (Cham.) Mattos observou elevada taxa de germinação em períodos de 48 a 72 horas, demostrando assim que as espécies podem apresentar diferentes comportamento quando expostas a esse tipo de teste.

Para índice de velocidade de emergência (Figura 02), os resultados mostram uma influência dos fatores de envelhecimento acelerado no vigor das sementes. Esse aspecto pode ser vinculado a relação do meio externo com as sementes, que devido ao grande estresse sofrido tiveram o IVE reduzido afetando diretamente o seu vigor, características colocadas como interligadas por Perez e Nassif (1998).
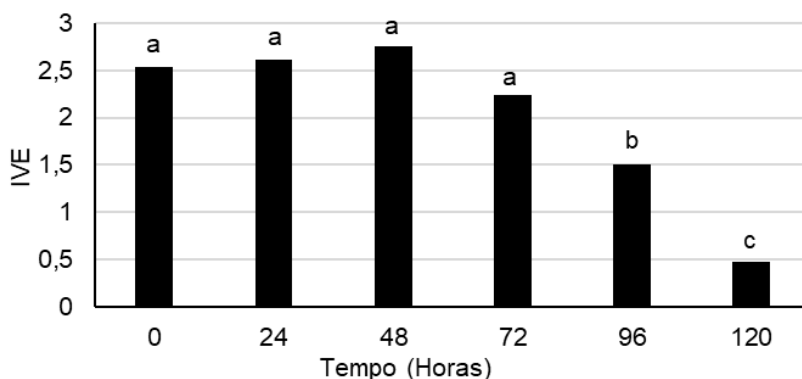
Figura 02. Índice de Velocidade de Emergência de plântulas (IVE) de *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos antes e após teste de envelhecimento acelerado por 24, 48, 72, 96 e 120 horas.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula, no topo das colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5,0% de probabilidade.

Fonte: Autores (2020).

5 | CONCLUSÕES

O desempenho germinativo de sementes de *H. heptaphyllus* (Vell.) Mattos é negativamente afetado a partir de 96 horas de exposição ao teste de envelhecimento acelerado.

REFERÊNCIAS

ATAÍDE, G. M.; FLORES, A.V.; BORGES, E. E. L. E. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de *Pterogyne nitens tull*. Durante o envelhecimento artificial.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 42, n. 1, p.71-76, jan./mar. 2012.

BORGES, E. E. L.; CASTRO, J. L. D.; BORGES, R. C. G. **Alterações fisiológicas em sementes de jacaré (*Piptadenia communis*) submetidas ao envelhecimento precoce**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v. 14, n. 1, p. 9-12, 1992.

CARDOSO, P. C.; ABREU, D. C. A.; NOGUEIRA, A. C. **Influência do envelhecimento acelerado na germinação e vigor de sementes de ipê-roxo *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex dc) Standl**. Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação. Universidade Estadual de Goiás. nov, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**, Brasília: Embrapa, 2003. 1039p.

FLAVIO, J. J. P.; PAULA, R. C. **Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica em sementes de *Dictyoloma vandellianum* A. Juss**. Scientia Forestalis. Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 391-399, set. 2010

FERREIRA, J. C. B. **Avaliação da qualidade fisiológica e ozonização de sementes de *Aegiphila sellowiana* Cham. 2016**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. 2016.

GARCIA, L. C.; NOGUEIRA, A. C.; ABREU, D. C. A. **Influência do envelhecimento acelerado no vigor de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan – Mimosaceae**. Ciência Florestal. Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 85-90, mai. 2004.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; OLIVEIRA, L. S. B.; GONÇALVES, E. P.; MELO, P. A. R. F. **Envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All**. Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, n. 2, p.443-450, jul. 2011. Universidade Estadual de Londrina.

LAMARCA, E. V.; BARBEDO, C. J. **Acerca Da Utilização Do Método Científico Nas Pesquisas Com Sementes Florestais: O Envelhecimento Acelerado Em Sementes De Ipê-Roxo, Um Modelo Descritivo**. Revista da Universidade Ibirapuera, São Paulo, v. 15, n. 13, p.47-55, jun. 2017.

MAGUIRRE, J. D. **Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** Crop Science, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MATOS, A. L. M. **Análise da viabilidade de sementes de *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos através dos testes de condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e ph de exsudato**. 2017. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Florestal, Brasília, 2017.

MORAES, C. E.; LOPES, J. C.; FARIAS, C. C. M.; MACIEL, K. S. **Qualidade fisiológica de sementes de *Tabernaemontana fuchsiaefolia* A. DC em função do teste de envelhecimento acelerado.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 26, n. 1, p.213-223, mar. 2016.

PEREZ, S. C. J. G. A.; NASSIF, S. M. L. **Efeito do envelhecimento precoce, polietilenoglicol e substrato na viabilidade e vigor de sementes de algarobeira.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, n. 12, p. 255-264, fev. 1998.

REFLORA: *Handroanthus* in **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB114085>. Acesso em: 21 out. 2020.

SHIBATA, M.; COELHO, C. M. M.; OLIVEIRA, L. M.; GARCIA, **C. Accelerated aging of ipê seeds under controlled conditions of storage**. Revista Brasileira de Sementes, Florianópolis, v. 34, n. 2, p.247-254, set. 2011.

SILVA, J. N.; SILVA, M. A. D.; RODRIGUES, M. H. B. S.; ALVES, R. M. **Testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica para sementes de espécies florestais nativas: Uma breve revisão.** Open Journal Systems, v. 1, n. 2, p. 24-30, ago. 2019.

CAPÍTULO 3

ESTABELECIMENTO DA TECNOLOGIA DE CULTIVO *IN VITRO* PARA ESPÉCIES FLORESTAIS

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 08/03/2021

Márcia Aparecida Novaes Gomes
Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito
Capão Bonito – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/2926619879650327

Daniel Bruno Ferreira
Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito
Capão Bonito – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/6350741651502836

Bruna Cristiane Pontes de Carvalho
Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito
Capão Bonito – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/6985791535860064

RESUMO: Entre as espécies florestais, *Olea europaea* tem grande potencial econômico no Brasil, como também *Mimosa scabrella* (bracatinga), nativa empregada em sistemas agroflorestais e com a sua madeira utilizada na construção civil. O objetivo do presente trabalho foi o estabelecimento *in vitro* de oliveira, cultivar Arbequina, e da bracatinga. Para a oliveira, cepas mantidas no viveiro foram tratadas com azoxystrobin, captan e estreptomicina (2,0, 2,4 e 0,7 g L^{-1}, respectivamente). No laboratório, segmentos nodais, obtidos das brotações das cepas, foram tratados com hipoclorito de sódio em 1,5 % por 20 min, 2,5% por 15 min e 5% por 5 min, e inoculados em meio Murashige & Skoog (MS), acrescido de antioxidantes. Já para a bracatinga, sementes foram desinfestadas com etanol 70% em 1 min e hipoclorito de sódio 1,0% por 5 min, e inoculadas em 3 g de substrato florestal acrescido de meio MS líquido e em meio MS geleificado com ágar, testando-se duas concentrações de sais MS, ¼ e ⅛ da concentração total, e duas concentrações de sacarose, 30 e 15 g L^{-1}. Para a oliveira, o tratamento com hipoclorito de sódio 5,0% por 5 min de imersão resultou a sobrevivência em 90%. Em bracatinga, o meio MS ⅛ e com sacarose em 15 g L^{-1} foram as condições ideais para a indução de germinação e desenvolvimento da plântula, tanto no substrato florestal como no ágar, entretanto a porcentagem de germinação e de plântulas desenvolvidas foi superior naquelas cultivadas em ágar. Os dados obtidos sugerem que os tratamentos testados para a desinfestação em segmentos nodais da oliveira, nas condições testadas, foram eficazes, e que o cultivo *in vitro* de plântulas de bracatinga em meio MS ⅛, solidificado com ágar e com 15 g L^{-1} de sacarose, é o ideal para obtenção de explantes para a micropropagação da espécie.

PALAVRAS - CHAVE: *Olea europaea. Mimosa scabrella*. Arbequina. Bracatinga. Micropropagação.

ESTABLISHMENT OF *IN VITRO* CULTIVATION TECHNOLOGY FOR FOREST SPECIES

ABSTRACT: Among the forest species, *Olea europaea* has great economic potential in Brazil, as well as *Mimosa scabrella* (bracatinga), native used in agroforestry systems and with its wood used in civil construction. Thus, the objective of the present work was the establishment *in*

vitro of the olive tree, Arbequina cultivar, and of the bracatinga. For the olive tree, stump in the nursery were treated with azoxystrobin, captan and streptomycin (2.0, 2.4 and 0.7 g L^{-1}, respectively). In the laboratory, nodal segments obtained from the sprouts of the stumps were treated with sodium hypochlorite in 1.5% for 20 min, 2.5% for 15 min and 5% for 5 min, and inoculated in Murashige & Skoog (MS), plus antioxidants. For bracatinga, seeds were disinfected with 70% ethanol in 1 min and sodium hypochlorite 1.0% for 5 min and inoculated in 3 g of forest substrate plus liquid MS medium and in 50 mL of MS gellified with agar, testing two concentrations of MS salts, ¼ and ⅛ of the total concentration, and two sucrose concentrations, 30 and 15 g L^{-1}. In olive, treatment with 5.0% sodium hypochlorite for 5 min resulted in 90% survival. In bracatinga, the medium MS ⅛ and sucrose in 15 g L^{-1} were the ideal conditions for the induction of germination and seedling development, both in the forest substrate and in the agar, however the percentage of germination and seedlings developed was higher in those grown on agar. The data obtained suggest that the treatments tested for disinfestation in nodal segments of the olive tree, under the conditions tested, were effective, and that the *in vitro* cultivation of bracatinga seedlings in MS ⅛ medium, solidified with agar and with 15 g L^{-1} of sucrose, is ideal for obtaining explants for the micropropagation of the species.
KEYWORDS: *Olea europaea. Mimosa scabrella*. Arbequnina. Bracatinga. Micropropagation.

1 I INTRODUÇÃO

A micropropagação, ou propagação *in vitro*, é uma ferramenta com grande potencial de aplicação para a multiplicação de genótipos de espécies florestais de interesse econômico ou ambiental (OLIVEIRA; DIAS; BRONDANI, 2013). Baseia-se no processo de totipotência das células vegetais, que permite gerar uma nova planta, geneticamente idêntica à matriz, a partir de um explante (célula ou qualquer fragmento de tecido ou órgão) num curto período e dentro de uma pequena área (BRONDANI *et al*., 2012).

É o método mais utilizado dentro cultura de tecidos e visa, principalmente, a multiplicação de clones de alto valor e de espécies de difícil propagação; a limpeza clonal; conservação e intercâmbio de germoplasma; e o melhoramento, com ganhos genéticos rápidos e maiores rendimentos de plantações (NAVROSKI *et al*., 2014). Passou a ser empregada no Brasil pelas empresas do setor florestal, com ganhos na produção de plantas, em quantidade e qualidade superiores àquelas obtidas pelos métodos convencionais (OLIVEIRA; DIAS; BRONDANI, 2013).

Em razão da grande variabilidade de espécie florestais, não é possível o estabelecimento de um único protocolo de micropropagação (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009) e para o estabelecimento *in vitro* destas é necessário considerar alguns fatores, como o tratamento de desinfestação, o meio de cultivo, a necessidade ou não de fitorreguladores ou de agentes antioxidantes, a luminosidade, temperatura, dentre outros (OLIVEIRA; DIAS; BRONDANI, 2013).

A desinfestação é a fase mais crítica para a maioria das plantas lenhosas,

principalmente quando são obtidos explantes de matrizes selecionadas do campo ou do viveiro, devido aos propágulos apresentarem altas taxas de contaminação. Para a desinfestação do explante, destaca-se o uso do etanol e os compostos à base de cloro, como o hipoclorito de sódio e o de cálcio, com as concentrações e os tempos de exposição variando entre as espécies. Em alguns casos torna-se necessário o uso de antibióticos, como a estreptomicina e oxitetraciclina (BRONDANI *et al.*, 2011).

Em relação ao meio de cultura, para o cultivo *in vitro* de plantas lenhosas, segundo Dutra, Wendling e Brondani (2009), recomenda-se o meio MS na metade da concentração dos sais (½ MS), ou seja, com baixas concentrações de nutrientes, e para evitar o processo de oxidação dos explantes, podem ser acrescentados ao meio antioxidantes como a polivinilpirrolidona (PVP) e o ácido ascórbico.

Dentre as espécies florestais que vêm despertando interesse econômico no Brasil está a oliveira (*Olea europaea*), uma vez que o país é considerado um dos maiores consumidores mundiais de azeite de oliva, com uma média de consumo de 60 milhões de litros de azeite por ano e com uma produção de azeite representando apenas 0,13% do total de importações estimadas em 2017/2018 (IOC, 2019).

O consumo do azeite de oliva ganhou maior relevância ao ser comprovadamente benéfico à saúde humana por ser rico em substâncias com capacidade antioxidante, como os compostos fenólicos; e como fonte de ácido oleico, este utilizado no tratamento de várias doenças, como diabetes, doenças cardíaco-coronarianas, câncer, entre outras (NOGUEIRA-DE-ALMEIDA *et al.*, 2015). O azeite de oliva é também utilizado como veículo na confecção de produtos farmacêuticos e em cosméticos (MESQUITA; OLIVEIRA; MESQUITA, 2006).

Existe potencial para que o Brasil, em médio e longo prazo, torne-se um grande produtor do azeite de oliva. Através de análises realizadas do azeite produzido no Brasil em laboratórios brasileiros e italianos verificou-se que este não perdia em qualidade para os produtos italianos. É crescente o interesse pela olivicultura nos estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo e Santa Catarina, com cultivos em fase de produção, beneficiamento de azeitonas e embalagem de azeite (COUTINHO *et al.*, 2015).

Em relação à propagação das oliveiras, o método tradicional é o da enxertia do porta-enxerto, obtidos de mudas originadas a partir de sementes, por ramos adultos produtivos, um método que demanda em torno de três anos e que está sendo substituído pelo enraizamento de estacas, com uma redução em dois anos do tempo de produção de mudas e do preço da muda, entretanto, a demanda exige uma produção em maior escala (GUATIMOSIM, 2012). Segundo Cançado *et al.* (2013), a micropropagação pode vir a ser uma técnica de destaque para a sua multiplicação.

A Bracatinga é uma espécie nativa pioneira crescida em florestas secundárias ombrófila mista, associada à regeneração de Florestas de Araucária e podendo ocorrer também em agrupamentos puros, os bracatingais (FRIEDERICHS *et al.*, 2015). É utilizada

por produtores rurais em sistemas agroflorestais (SAF’s) e a lenha que produz tem grande valor econômico para tais produtores (DA SILVA *et al.*, 2016). Estudos realizados por Friederichs *et al.* (2015) demonstraram o alto poder calorifico da madeira (6988 kcal kg^{-1}), indicando a sua importância na indústria carvoeira, além do tradicional uso como lenha para fogões domésticos, fornalhas, locomotivas das estradas de ferro, olarias e fundições.

A madeira de bracatinga está em ascensão na construção civil, na produção de pisos, tacos e laminados, sendo comparada à “madeira nobre”. Assim, considera-se que a espécie possui grande potencial como floresta nativa comercialmente viável, devido ao crescimento rápido, capacidade de desenvolvimento em sítios degradados, madeira de boa qualidade para produção madeireira, para a indústria de carvão e outros fins, tornando-se necessário estudos e implantação de experimento para o desenvolvimento e incentivo da sua produção comercial (SMINSKI; MAZUCHOWSKI, 2014).

Segundo Dahmer *et al.* (2013), a espécie corre o perigo de perder a variabilidade genética por ocorrer em regiões sujeitas a intensa urbanização, industrialização, agricultura e pecuária. Estudos realizados pelos autores mostraram que é grande a possibilidade de melhoria no seu material genético e em seu manejo florestal, e que pouco tem sido feito para converter a bracatinga em uma espécie florestal melhorada, mas que ainda há tempo para evitar a sua erosão genética se as áreas onde crescem forem protegidas e a sua propagação for realizada em maior escala.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi o estabelecimento do cultivo *in vitro* de oliveira (*Olea europaea*), cultivar Arbequina, e da bracatinga (*Mimosa scabrella*), estabelecendo um protocolo de desinfestação para a oliveira e testando-se diferentes meios de cultivo e de concentração da sacarose para a bracatinga.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Viveiro e no Laboratório de Biotecnologia da Faculdade de Tecnologia de Capão Bonito, Capão Bonito/SP, localizado a 24°01’16.35”S e 48°21’04.96”O.

2.1 Desinfestação *in vitro* de segmentos nodais de oliveira (cv. Arbequina)

Para o estabelecimento *in vitro* da oliveira foram utilizados os segmentos nodais com aproximadamente 1,0 cm de comprimento, obtidos de brotações de cepas de oliveira, cultivar Arbequina, mantidas no viveiro.

Visando reduzir as taxas de contaminação, foram aplicados semanalmente nas cepas, um mês antes da coleta das brotações, intercalados o fungicida sistêmico Amistar® (Azoxystrobin) e o fungicida de contato Orthocide® (Captan) associado com o antibiótico Agrimicina® (estreptomicina), nas doses de 2,0, 2,4 e 0,7 g L^{-1}, respectivamente.

Após a coleta, as brotações foram lavadas em água corrente durante 1 h, seguida

por imersão em etanol 70% por 1 min e em solução de hipoclorito de sódio em câmara de fluxo laminar, testando-se três concentrações de cloro ativo em três períodos (1,5 % em 20 min, 2,5% em 15 min e 5% em 5 min) e adicionado Tween 20 a 0,1%. Após este período, o material foi lavado por 3 vezes em água destilada esterilizada e retirados os segmentos nodais, os quais foram inoculados em frascos de vidro com capacidade para 250 ml, contendo 50 mL do meio de cultura com a formulação de sais MS, suplementado com 7,0 g L^{-1} de ágar, 30 g L^{-1} de sacarose, 1,5 g L^{-1} de carvão ativado, e com os antioxidantes polivinilpirrolidona (PVP) (200 mg L^{-1}), ácido ascórbico (150 mg L^{-1}) e ácido cítrico (150 mg L^{-1}). O pH do meio de cultura foi ajustado para 5,8 e os frascos contendo o meio foram autoclavados a 121 ºC e 1,5 atm por 20 minutos.

Após a inoculação, os explantes foram mantidos em câmara de crescimento a 25 ± 2ºC, no escuro, por um período de sete dias, visando a diminuição de oxidação. Depois desse período, em fotoperíodo de 16 horas.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e cinco repetições, com cada unidade experimental constituída por cinco frascos de vidro contendo três explantes cada. Os dados para as variáveis (porcentagem de ausência de contaminação e sobrevivência do explante) foram avaliados aos sete, quatorze e trinta dias e foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$), utilizando o programa estatístico GraphPad Prism.

2.2 Germinação e desenvolvimento inicial *in vitro* de bracatinga em diferentes meios de cultivo e concentração da sacarose

Visando a superação de dormência, as sementes de bracatinga foram imersas sob agitação em água quente (80ºC) por 5 minutos, e mantidas por 24 horas na temperatura ambiente.

Após este período, baseado em estudos realizados por Côrrea da Rosa *et al*. (2012), as sementes foram desinfestadas em câmara de fluxo laminar, com imersão em álcool etílico a 70% (v/v) durante 1 minuto, e imersas por 5 minutos, sob agitação constante, em solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 1,0% (v/v) contendo duas gotas de Tween 20, seguido de três enxágues em água destilada e autoclavada.

Em seguida, as sementes foram inoculadas para germinação em frascos de 250 mL contendo 3 g de substrato florestal, composto por palha de arroz carbonizada (41%), vermiculita (35%) e fibra de coco (24%), acrescido de meio MS líquido, e em 50 mL de meio MS solidificado com 7,0 g L^{-1} de ágar, testando-se duas concentrações de sais MS, ¼ e ⅛ da concentração total, e duas concentrações de sacarose, 30 e 15 g L^{-1}. Antes da inoculação das sementes, os frascos contendo os meios de cultivo foram esterilizados em autoclave por 20 minutos a 121ºC e 1 atm. Os frascos contendo as sementes foram mantidos em câmara de crescimento com fotoperíodo de 16 horas.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 20

repetições por tratamento, consistindo em um frasco com três sementes. Após 90 dias, foram avaliadas a porcentagem de germinação, com sementes apresentando a radícula protrundida e/ou emergência da plântula, e a porcentagem de plântulas desenvolvidas (com raiz principal, presença de raízes secundárias e desenvolvimento da parte aérea). Os dados obtidos foram transformados para a função arco seno raiz quadrada de (x+0,5)/100 e comparados pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desinfestação *in vitro* de segmentos nodais de oliveira (cv. Arbequina)

Aos sete dias após a inoculação, não foi observada a contaminação em nenhum dos tratamentos aplicados. Aos 14 dias, os tratamentos com hipoclorito de sódio em 1,5% por 20 min de imersão e em 2,5% em 15 min apresentaram 70% e 90% sem contaminação, respectivamente, e aos 30 dias, 40% e 80%. No tratamento em que os segmentos nodais foram imersos sob agitação por 5 minutos em 5,0% de concentração, apenas foi observado a contaminação em 10% aos 30 dias (figura1 e tabela 1).
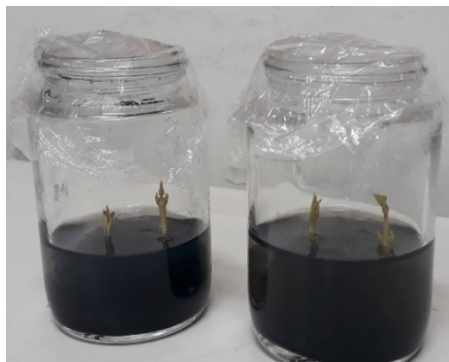
Figura 1 - Ápices caulinares de *Olea europaea*, cv. Aberquina, resultantes do tratamento com solução de hipoclorito de sódio a 5,0% e imersão por 5 min.

NaClO (%)	Ausência de Contaminação (%)			Explantes Vivos (%)		
	7 dias	14 dias	30 dias	7 dias	14 dias	30 dias
1,5% em 20 min	100 Aa	70 Cb	40 Cc	40 Aa	10 Ab	10 Ac
2,5% em 15 min	100 Aa	90 Bb	80 Bc	30 Ba	10 Ab	0 Bc
5,0% em 5 min	100 Aa	100 Aa	90 Ba	40 Aa	0 Bb	0 Bb
Média	0,00	13,33	30,00	36.67	6,67	3,33
CV (%)	0,00	114,56	88,19	15,75	86,60	173,21

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 1 - Porcentagem de ausência de contaminação e de explantes vivos de segmentos nodais de *Olea europaea*, cv. Arbequina, aos 30 dias de cultivo *in vitro*, em função da concentração de cloro ativo da solução de hipoclorito de sódio e do tempo de imersão.

Pode-se inferir, que a pré-assepsia das cepas mantidas no viveiro com o fungicida sistêmico Azoxystrobin e o fungicida de contato Captan associado com o antibiótico estreptomicina, e posterior esterilização com hipoclorito com 5,0% de cloro ativo e 5 min de imersão, foi eficiente para a descontaminação dos segmentos nodais da oliveira, cv. Arbequina.

Donini *et al.* (2008) também obtiveram alta descontaminação para o cultivo *in vitro* dos cultivares Picual, Frantoio e Koroneiki da oliveira utilizando a pulverização das mudas matrizes com o antibiótico Agrimicina (Estreptomicina) e o fungicida Cercobin (Thiophanate-methyl) nas doses de 2,4 e 0,7 g L^{-1}, respectivamente, o que reforça a importância da pré-assepsia das mudas matrizes, uma vez que, segundo Ribeiro (2016), o uso apenas dos tratamentos de assepsia no estabelecimento *in vitro* de oliveira, comumente ultrapassa os 50% de contaminação devido à alta interferência de contaminantes presentes no explante.

A não sobrevivência observada dos explantes aos 30 dias da inoculação foi resultante da oxidação ocorrida, mesmo com a aplicação dos procedimentos normalmente recomendados, com a adição de antioxidantes ao meio de cultivo, manipulação no fluxo laminar sem luminosidade e manutenção dos explantes inoculados no escuro por sete dias. Gonçalves (2013), também obteve alto índice de oxidação nos explantes de oliveiras cultivadas *in vitro*, mesmo com o uso de antioxidantes no meio de cultivo.

Segundo Cançado *et al.* (2013), os principais fatores que impedem a multiplicação de oliveira utilizando a tecnologia de cultivo *in vitro* estão a oxidação por compostos fenólicos exsudados pela própria espécie e a elevada taxa de contaminação por micro-organismos endossimbiontes. Entretanto, o emprego dessa tecnologia para a propagação em larga

escala de mudas de oliveira não deve ser descartado, uma vez que a micropropagação pode permitir a redução no tempo do processo de produção das mudas e estas com qualidade fitossanitária (CANÇADO *et al*., 2013).

3.2 Germinação e desenvolvimento inicial *in vitro* de bracatinga em diferentes meios de cultivo e concentração da sacarose

O tratamento com meio ⅛ MS e sacarose em 15 g L^{-1} foi o ideal, tanto no substrato florestal como no ágar, com a germinação e plântulas desenvolvidas superiores naquelas cultivadas em ágar, com 37,8% e 28,9%, respectivamente, para 13,3% de germinação e 6,7% de plântulas desenvolvidas em substrato florestal (tabelas 2 e 3, figura 2).

Meio de Cultivo	Sacarose (g L^{-1})		Média	CV
	15	30		
Substrato Florestal + ¼ MS	10,2 Da	7,4 Cb	8,2	33,63%
Substrato Florestal + ⅛ MS	13,3 Ca	6,3 Db	10,3	40,50%
Ágar + ¼ MS	24,6 Ba	15,6 Bb	20,1	31,66%
Ágar + ⅛ MS	37,8 Aa	24,4 Ab	31,1	18,42%
Média	21,5	13,4		
CV	58,23%	62,77%		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Porcentagem de germinação de sementes de *Mimosa scabrella* (bracatinga), dada pela emergência da plântula e da radícula protrundida, cultivadas em diferentes meios de cultivo e de concentração de sacarose, sob condições *in vitro*.

Meio de Cultivo	Sacarose (g L^{-1})		Média	CV
	15	30		
Substrato Florestal + ¼ MS	4,3 Da	2,5 Db	3,4	37,44%
Substrato Florestal + ⅛ MS	6,7 Ca	5,0 Bb	5,8	20,73%
Ágar + ¼ MS	13,8 Ba	4,0 Cb	8,9	77,86%
Ágar + ⅛ MS	28,9 Aa	7,2 Ab	18,0	85,25%
Média	13,4	4,7		
CV	82,67%	41.96%		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3 - Porcentagem de plântulas desenvolvidas de *Mimosa scabrella* (bracatinga), cultivadas em diferentes meios de cultivo e de concentração de sacarose, sob condições *in vitro*.
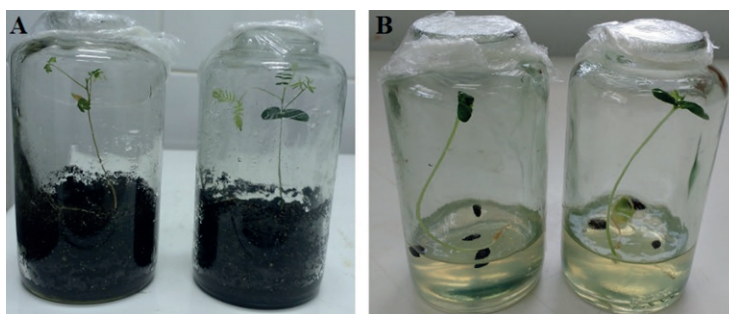
Figura 2 - Plântulas *in vitro* de *Mimosa scabrella* (bracatinga) em substrato florestal comercial (A) e meio MS (B), com as concentrações dos sais em ⅛ e sacarose em 15 g L^{-1}.

Os dados obtidos em relação à menor concentração dos sais do meio de cultivo MS corroboram com o trabalho de Côrrea da Rosa *et al*. (2012) com bracatinga, onde foi obtida a máxima germinação *in vitro* no meio ¼ MS, com em torno de 55%. Lédo *et al*. (2007), observaram que o meio de cultura ½ MS foi eficiente na germinação *in vitro* de sementes e formação de plântulas normais de mangabeira (*Hancornia speciosa*).

Com relação a sacarose, Nogueira *et al*. (2004) também encontraram para a germinação *in vitro* de murici-pequeno (*Byrsonima intermedia*) que os meios de cultura mais eficientes foram aqueles com o meio MS em 50% dos sais, sem sacarose e com

50% dela, apresentando 60% e 100% de germinação, respectivamente. Pereira *et al.* (2006), trabalhando com *Uncaria guianensis*, também obtiveram os maiores porcentuais de germinação quando as sementes foram cultivadas com 15,0 g L^{-1} de sacarose.

A maior porcentagem de germinação das sementes e desenvolvimento da plântula em meio nutritivo com redução dos sais minerais e redução da concentração de sacarose, deveu-se, provavelmente, à diminuição do potencial osmótico promovido do referido meio. Segundo Stein *et al.* (2007), a presença de uma concentração maior ou menor de sais e de sacarose, ou outros compostos osmoticamente ativos no meio de cultura, pode diminuir a disponibilidade de água para a semente, dependendo da espécie e do potencial osmótico de suas sementes.

O carboidrato presente no meio de cultura afeta significativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas *in vitro*, uma vez que atuam tanto como fonte de carbono e energia quanto como reguladores osmóticos do meio (FLORES *et al*., 2013).

Côrrea da Rosa *et al.* (2012) esclarecem que existe uma tendência na diminuição de sais nos meios de cultura em estudos visando o estabelecimento *in vitro* através da germinação de sementes, com diferentes trabalhos com esta proposta. Entretanto, para cada tipo de explante, espécie ou cultivar, o meio de cultura mais adequado deve ser determinado experimentalmente ou baseado em literatura (BARRUETO CID; TEIXEIRA, 2014).

4 | CONCLUSÃO

Os dados obtidos sugerem que os tratamentos testados para a desinfestação de micro-organismos em segmentos nodais da oliveira, nas condições testadas, foram eficientes e que o uso de hipoclorito de sódio em 5% com 5 minutos de imersão é o ideal.

Para a bracatinga, o meio MS solidificado com ágar e com ⅛ da concentração total de sais e 15 g L^{-1} de sacarose, mostrou ser eficazes na germinação das sementes e desenvolvimento da plântula, podendo ser utilizado como fornecedor de explantes para estudos posteriores de micropropagação da espécie.

REFERÊNCIAS

BARRUETO CID, L. P; TEIXEIRA, J. B. Explante, meio nutritivo, luz e temperatura. In: BARRUETO CID, L. P. **Cultivo *in vitro* de plantas**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. p. 17-45.

BRONDANI, G.E. *et al.* Micropropagation of an *Eucalyptus* hybrid (*Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*). **Acta Scientiarum, Agronomy**, (Online), Maringá, v. 33, n. 4, pág. 655-663, dez. 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i4.8317. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.8317. Acesso em: 24 fev. 2021.

BRONDANI, G.E. *et al*. Micropropagation of *Eucalyptus benthamii* to form a clonal micro-garden. ***In Vitro*** **Cellular & Developmental Biology-Plant**, Heidelberg, v. 48, n. 5, p. 478-487, oct. 2012.

CANÇADO, G.M. de A. *et al*. Cultivo *in vitro* da oliveira e suas aplicações. In: DE OLIVEIRA, A.F. (Ed.). **Oliveira no Brasil: Tecnologias de Produção**. Belo Horizonte: Epamig, 2013, cap. 10, p. 275-310.

CÔRREA DA ROSA, F. *et al*. Superação da dormência e germinação in vitro de sementes de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 1021-1026, may./jun. 2012.

COUTINHO, H. L. C. *et al*. **Oliveira: aspectos técnicos e cultivo no sul do Brasil**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2015.181 p.

DA SILVA, L.C.R. *et al*. Evolução estrutural de bracatingais da região metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria , v. 26, n. 1, p. 171-179, mar. 2016 . Disponível em: http://dx.doi.org/10.5902/1980509821102. Acesso em 02 mar. 2021.

DAHMER, N. et al. "Bracatinga" (*Mimosa scabrella* Bentham), a multipurpose tree growing in Southern Brazil: chromosome number and genetic variation. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 60, p. 377-383, jan. 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10722-012-9931-6. Acesso em 02 fev. 2021.

DONINI, L.P. *et al*. Estabelecimento *in vitro* de oliveira cv." Arbequina" para início da micropropagação. **Ciência Rural**, Santa Maria , v. 38, n. 6, p. 1769-1772, sept. 2008. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000600045. Acesso em 02 mar. 2021.

DUTRA, L.F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G.E. A micropropagação de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 58, p. 49-59, jan./jun. 2009.

FLORES, R. *et al*. Sacarose e sorbitol na conservação *in vitro* de *Pfaffia tuberosa* (Spreng) Hicken (Amaranthaceae). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 3, p. 192-199, aug. 2013. Disponível em: https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v4n3.floresAcesso em: 8 fev. 2021.

FRIEDERICHS, G. *et al*. Qualidade da madeira e do carvão vegetal de bracatinga (Mimosa scabrella Benth.). **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Lages, v. 6, n. 2, 2015. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v6n2p79-87. Disponível em: https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4132. Obtido em: 12 fev. 2021.

GONÇALVES, T.S. Oxidação *in vitro* de Olea europaea L. In: 5ª JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA E 2º SIMPÓSIO DA PÓS-GRADUAÇÃO. 2013. Pouso alegre. **Anais...** Pouso alegre: Campos Machado, 2013. Disponível em: https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcinc/jcinc/paper/viewFile/266/119. Acesso em: 10 fev. 2021.

GUATIMOSIM, P. Oliveiras avançam pela serra da Mantiqueira. **A Lavoura**, n. 693, p. 16-21, 2012. Disponível em: http://www.sna.agr.br/uploads/ALavoura_693_16.pdf. Obtido em: 12 ago. 2020.

IOC - INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL. **World Olive Oil Figures**. 2019. Disponível em: <http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-worldolive-oil-figures>. Acesso em: 18 jul. 2020.

LÉDO, A. S. *et al*. Crescimento inicial de mangabeira (*Heincornia speciosa* Gomes) em diferentes meios de germinação *in vitro*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 989-993, aug. 2007. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000400007. Acesso em: 24 fev. 2021.

MESQUITA, D. L.; OLIVEIRA, A. F. de; MESQUITA, H. A. de. Aspectos econômicos da produção e comercialização do azeite de oliva e azeitona. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 231, p. 7-12, mar./abr. 2006.

MURASHIGE, R.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

NAVROSKI, M.C. *et al*. *In vitro* establishment and multiplication of genotypes of *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 139-146, jan./mar. 2014.

NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, C.A. *et al*. Azeite de Oliva e suas propriedades em preparações quentes: revisão da literatura. **International Journal of Nutrology**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 02, p. 013-020, mai/ago. 2015. DOI: 10.1055/s-0040-1705067. Disponível em: https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0040-1705067. Acesso em: 27 fev. 2021.

NOGUEIRA, R.C. *et al*. Germinação *in vitro* de murici-pequeno (*Byrsonima intermedia* A. Juss.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1053-1059, oct. 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500012. Acesso em: 27 fev. 2021.

OLIVEIRA, L. S. de; DIAS, P. C.; BRONDANI, G. E. Micropropagação de espécies florestais brasileiras. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 33, n. 76, p. 439–453, dez. 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.76.481. Disponível em: https://pfb.cnpf.embrapa.br/ojs-3.2.1-3/index.php/pfb/article/view/481. Acesso em: 24 fev. 2021.

PEREIRA, R. de C. A. et al. Germinação, avaliação do ácido giberélico e posição do explante no alongamento *in vitro* de *Uncaria guianensis* (Aublet) Gmelin Rubiaceae (unha-de-gato). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 637-642, aug. 2006. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542006000400007. Acesso em: 24 fev. 2021.

RIBEIRO, A.V.A.P. **Simplificação do processo de multiplicação in vitro da oliveira "*Olea europaea* L."**. 2016. 79f. Dissertação (Mestrado em Olivicultura e Azeite) - Universidade de Évora, Évora, 2016. Disponível em: https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/20702. Acesso em: 27 fev. 2021.

SMINSKI, A.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Caracterização da espécie. In: MAZUCHOWSKI, J. Z.; RECH, T. V.; TOREZAN, L. (orgs**.). Bracatinga, *Mimosa scabrella* Benthan: cultivo, manejo e usos da espécie**. Florianópolis: Epagri, 2014, p. 19-38.

STEIN, V. C. *et al*. Germination *in vitro* and *ex vitro* of *Inga vera* Willd. subsp. *affinis* (DC.) TD Penn. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1702-1708, dez. 2007. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600015. Acesso em: 24 fev. 2021.

XAVIER A.; WENDLING, I; SILVA. R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: ed. UFV. 272 p., 2009.

CAPÍTULO 4

AS FLORESTAS URBANAS E PERIURBANAS COMO ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA CLIMÁTICA

Data de aceite: 01/04/2021
Data de submissão: 05/01/2021

Verônica Boarini Sampaio de Rezende
Instituto Florestal (IF/SIMA) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP)
Piracicaba - SP
http://lattes.cnpq.br/9355111301880212

Elaine Aparecida Rodrigues
Instituto Florestal (IF/SIMA) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/USP)
São Paulo - SP
http://lattes.cnpq.br/2127987150663678

Edgar Fernando de Luca
Instituto Florestal (IF/SIMA)
Piracicaba - SP
http://lattes.cnpq.br/1411803946391084

Luis Alberto Bucci
Instituto Florestal (IF/SIMA)
São Paulo - SP
http://lattes.cnpq.br/1845135635552371

Leni Meire Pereira Ribeiro Lima
Instituto Florestal (IF/SIMA)
São Paulo - SP
http://lattes.cnpq.br/3974324265896978

Kátia Mazzei
Instituto de Botânica (IBt/SIMA)
São Paulo - SP
http://lattes.cnpq.br/0620370697672988

RESUMO: As áreas verdes urbanas desempenham importante função na manutenção dos serviços ecossistêmicos. Dentre seus benefícios, destaca-se sua contribuição para os processos de mitigação e adaptação à mudança climática, uma vez que atuam na amenização do clima e se configuram como importantes sumidouros de CO_2, principal gás de efeito estufa de origem antropogênica. Neste contexto, a partir da estimativa da quantidade de carbono retirado da atmosfera pelo Arboreto Comemorativo dos 500 Anos do Brasil, foi analisada a dinâmica de crescimento das espécies e sua relação com a quantidade de C-CO_2 equivalente (eq) fixado, com estimativas de quantidade e taxa C-CO_2 eq retirados da atmosfera em cada período estudado (2003, 2009, 2017 e 2020). Após 20 anos de implantação, a quantidade estimada de C-CO_2 eq retirado da atmosfera foi de aproximadamente 180 toneladas, com taxa anual de incremento bastante expressivo para o último período (cerca de 40 toneladas), devido ao crescimento dos indivíduos clímax a partir de 2017. Estes resultados evidenciam o potencial das florestas urbanas para a redução da vulnerabilidade das cidades frente à mudança climática e a urgência no estabelecimento de uma gestão florestal para seu adequado enfrentamento.

PALAVRAS - CHAVE: Fixação de carbono; Mudanças climáticas globais; serviços ecossistêmicos; Áreas verdes urbanas; Parque Estadual Alberto Löfgren.

THE URBAN AND PERIURBAN FORESTS AS A STRATEGY TO ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

ABSTRACT: The urban green spaces play an important role in the maintenance of ecosystemic services. Among their benefits, we highlight the contribution to the mitigation process of climate change and adaptation to it, once they smooth the weather and stand as important CO_2 sinkholes, the main anthropogenic greenhouse gas. In this context, from the estimation of carbon removal from atmosphere by the "Arboreto Comemorativo dos 500 Anos do Brasil", it was performed an analysis on the growth dynamics of species and its relation with the fixed amount of C or equivalent CO_2 (C-CO_2 eq), with estimations of the amount and rates of C-CO_2 eq removed from atmosphere in each period of study (2003, 2009, 2017, 2020). After 20 years of implementation, the estimated amount of C-CO_2 eq removal from the atmosphere is approximately 180 tonnes, with a very significant annual increasing rate for the last period (around 40 t), due to the growth of climax individuals from 2017 on. These results highlight the potential of urban forests in decreasing the vulnerability of cities facing climate change and the urgency in establishing a forest management for its adequate coping.
KEYWORDS: Carbon Storage; Global climate change; Ecosystem services; Urban green spaces, Parque Estadual Alberto Löfgren.

1 I INTRODUÇÃO

Uma pauta que tem se tornado cada vez mais importante em âmbito mundial é são as mudanças climáticas que estão ocorrendo na Terra, de forma mais acelerada a partir da Revolução Industrial, cujos cenários de emissões avaliadas assinalam que a temperatura média global na superfície da Terra continuará aumentando ao longo do século XXI (IPCC, 2014). Este fenômeno é consequência de uma conjugação da presença de gases de efeito estufa (GEE) de origem antropogênica e do comprometimento de sistemas atuantes como sumidouros de dióxido de carbono (CO_2) (florestas e oceanos) (LUCA *et al*., 2020).

Os impactos das mudanças climáticas globais (MCG) atingem diretamente os sistemas naturais e humanos, em todos os continentes e também os oceanos - mudanças nas precipitações e no derretimento de neve e gelo; alterações na distribuição geográfica, atividades estacionais, rotas migratórias, abundância e interação de espécies terrestres, de água doce e marinha; impactos nos rendimentos dos cultivos; acidificação dos oceanos; aumento da ocorrência de extremos climáticos (LUCA *et al*, 2020). O combate à mudança do clima e seus impactos por meio da ação multilateral, tem como base a adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (1992), sob a qual foram negociados os principais tratados internacionais relacionados ao tema, sendo promulgada em 1998 pelo Brasil (UNFCCC, 1992; BRASIL, 1998).

Os esforços para combater as MCG precisam ser planejados e compreendidos em conjunto com o desenvolvimento sustentável. Assim, a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) constituem planos de ação estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) para a solução de problemas atuais, incluindo a

ação climática, que figura como ODS-13 (UNITED NATIONS, 2015; 2021).

As MCG afetam todos os países em todos os continentes, com sérias perturbações nas economias nacionais e locais, na vida das pessoas e nos ecossistemas naturais, com impacto direto sobre as pessoas mais pobres e vulneráveis (UNITED NATIONS, 2021) e nos ecossistemas urbanos, que já concentram 55% da população humana (UNITED NATIONS, 2019). As atividades de uso da terra podem resultar tanto em emissões como em remoção de gases de efeito estufa (GEE), de modo que a ocupação do território desempenha importante papel nos ciclos climáticos, em especial para atenuar seus impactos nas áreas urbanizadas, visto que a taxa de acumulação de dióxido de carbono pode ser reduzida por meio da fixação do carbono deste gás na vegetação e nos solos dos ecossistemas terrestres (UNFCCC, 2021).

Nesta conjuntura, o presente trabalho estimou a quantidade de carbono em CO_2 equivalente removido da atmosfera pelo Arboreto Comemorativo dos 500 Anos do Brasil, localizado no Parque Estadual Alberto Lofgren, na cidade de São Paulo, implantado no ano 2000, com predomínio de espécies nativas da Mata Atlântica. Com o objetivo de analisar a dinâmica de crescimento das espécies e sua relação com a quantidade de $C\text{-}CO_2$ equivalente (eq) fixado, foram feitas estimativas em quatro períodos ao longo de duas décadas. O estudo também analisou a importância de áreas verdes urbanas frente à mudança climática e sua relação com o fornecimento de serviços ecossistêmicos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de Estudo

A área de estudo é o Arboreto Comemorativo dos 500 anos do Brasil, implantado em 2010, no Parque Estadual Alberto Lofgren (PEAL), localizado na região norte da cidade de São Paulo (Figura 1). O Arboreto ocupa uma área de um hectare, onde foram inicialmente plantadas 500 mudas, sendo 24 de espécies nativas de diversas formações vegetais do estado de São Paulo, 25 espécies já existentes no local provenientes de regeneração natural, além da cerejeira - *Pronus cerasoides* D.Don, árvore símbolo do Japão (SÃO PAULO, 2012).

Ao longo dos anos, o Arboreto foi manejado com substituição de indivíduos que morreram, incluindo todos aqueles de cerejeira. Em 2017 houve um segundo plantio de 104 novos indivíduos. Atualmente o Arboreto é composto por 40 espécies arbóreas, totalizando 604 indivíduos.
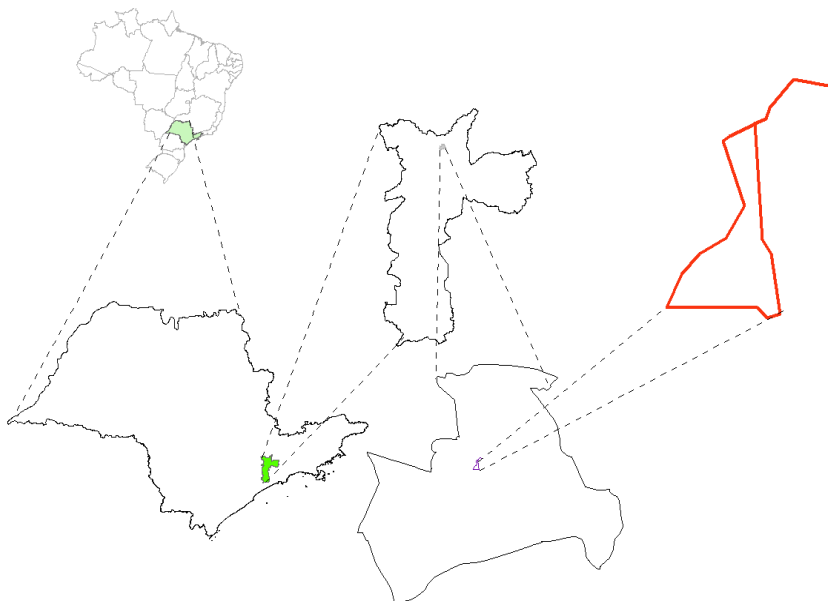
Figura 1: Croqui da localização do Arboreto Comemorativo dos 500 Anos do Brasil no Parque Estadual Alberto Lofgren.

Fonte: Elaboração própria.

3 | METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados os valores de altura e a circunferência à altura do peito (CAP) de todos os indivíduos do Arboreto, coletados nos anos 2003, 2009 e 2017 e 2020. Para indivíduos com altura menor que 1,30 m foi medida a circunferência do tronco da árvore. As coletas foram realizadas com o uso de um clinômetro e uma fita métrica. Para a realização dos cálculos, foram utilizadas as fórmulas expressadas na Tabela 1.

Os valores de CAP foram transformados em DAP (diâmetro à altura do peito) (fórmula 1). No caso de indivíduos ramificados abaixo de 1,3 metros do solo foi feita a coleta do CAP de todas as suas ramificações, e foi utilizado a fórmula 2 (MACDICKEN; WOLF; BRISCOE, 1991) para o ajuste destes valores.

Fórmula 1	$DAP = \frac{CAP}{\pi}$
Fórmula 2	$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \cdots + d_n^2}$
Fórmula 3	$Vfuste = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{DAP}{100}\right)^2 \times h \times 0,5$
Fórmula 4	$Vtotal = 1,25 \times Vfuste$
Fórmula 5	$biomassa = 1000 \times Vtotal \times d$
Fórmula 6	$Cfixado = biomassa \times 0,5$
Fórmula 7	$C - CO_2\, eq = Cfixado \times 3,67$

Tabela 1: Fórmulas utilizadas em cada indivíduo arbóreo para estimativa de C-CO_2 eq retirado da atmosfera.

Legenda: CAP= circunferência à altura do peito (cm); DAP= diâmetro à altura do peito (cm); D= diâmetro quadrático (cm); D_1, D_2, D_u = diâmetros de cada ramificação de um mesmo indivíduo; Vfuste= volume do fuste (m³); h= altura (m); Vtotal= volume total (m³); biomassa= biomassa da parte aérea (kg); d = densidade da espécies (g/cm³).

Para estimar a quantidade de carbono em equivalente CO_2 (C-CO_2 eq) retirado da atmosfera pelos indivíduos arbóreos, primeiramente deve-se estimar sua biomassa aérea (PESSOA; MARTINS, 2015), uma vez que o carbono é fixado na biomassa vegetal através do processo de fotossíntese, sendo utilizadas as fórmulas 3, 4 e 5 para a obtenção dos valores de volume do fuste, volume total e biomassa da parte aérea de cada indivíduo, respectivamente. No cálculo do carbono fixado (fórmula 6) foi considerado o índice 0,5 que corresponde a 50% em proporção de carbono na biomassa (SILVEIRA et al., 2008). A estimativa de C-CO_2 eq foi obtida pela multiplicação do carbono fixado por 3,67 (fórmula 7).

Além da revisão da literatura sobre estimativa de carbono em biomassa florestal foram analisados o Plano de Manejo do Parque Estadual Alberto Lofgren (SÃO PAULO, 2012) além de estudos sobre serviços ecossistêmicos, florestas urbanas e mudanças climáticas globais.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As florestas urbanas e periurbanas proporcionam serviços ecossistêmicos culturais, de regulação e de provisão com importância em escala local, regional e global (Tabela 2). Estas florestas abarcam árvores e vegetação associada dentro da cidade e no seu entorno e incluem as áreas protegidas, os espaços verdes nas zonas residenciais e as árvores nas ruas e no entorno de áreas úmidas e corpos d’água (DOBBS *et al.*, 2018; FAO, 2017).

Aspectos urbanos	Benefícios potenciais das florestas urbanas
Insegurança alimentar	Proporcionam alimentos, água limpa e lenha
Pobreza urbana	Criam empregos e aumentam a renda
Perda do solo e da paisagem	Melhoram as condições do solo e previnem erosão
Perda da biodiversidade	Preservam e aumentam a biodiversidade
Contaminação do ar	Removem os contaminantes do ar
Poluição acústica	Funcionam como barreira acústica
Emissão de gases de efeito estufa	Fixam carbono, mitigam a mudança climática
Eventos climáticos extremos	Amenizam o clima local e fomentam a resiliência
Escassez de energia	Fornecem sombra/resfriamento e combustível lenhoso
Efeito de ilha de calor	Melhoram o clima local, com sombra e evapotranspiração
Acesso limitado a áreas verdes	Oferecem maior acesso a áreas naturais e verdes
Comprometimento da saúde pública	Melhoram a saúde física e mental dos residentes
Inundações	Mitigam escorregamentos e atenuam inundações
Limitação das oportunidades recreativas	Possibilitam a recreação e a educação ambiental
Superexposição	Oferecem refúgio
Recursos hídricos limitados	Permitem a infiltração e reúso de água residuais
Falta de coesão comunitária e social	Oferecem lugares para interação ao ar livre

Tabela 2: Benefícios potenciais das florestas urbanas.

Fonte: Adaptado de FAO (2017: p. 5).

Em que pese o potencial de vários serviços ecossistêmicos proporcionados pelas áreas urbanas (Tabela 2), destaca-se sua importância para a mitigação da mudança climática, quer pela fixação de carbono atmosférico em superfície, quer pela redução do efeito urbano de “ilha de calor”. Ainda assim, esses espaços são ameaçados pela mudança da cobertura e uso da terra associada à expansão urbana, especulação imobiliária, intensificação do adensamento e pela ocupação dos vazios urbanos. Historicamente, o crescimento urbano tem sido um dos principais fatores de perda de habitat natural do planeta, o que afeta a capacidade dos ecossistemas urbanos e periurbanos em atender as necessidades vitais de milhões de pessoas que vivem nas cidades e compromete sua qualidade de vida (RODRIGUES, et al. 2019; McDONALD *et al.*, 2018).

Embora as áreas urbanas cubram apenas 2% da superfície da Terra, elas correspondem a 70% das emissões de gás carbônico do mundo e de uma expressiva quantidade de outros GEE. Se em 1950, 30% da população mundial vivia em área urbana, em 2018 este índice foi para 55%, sendo projetado que 66% da população mundial viverá em áreas urbanas em 2050 (UNITED NATIONS, 2019). Assim, as áreas urbanas se configuram como principais contribuintes para as MCG, ao mesmo tempo em que seus bilhões de habitantes são altamente vulneráveis aos extremos do clima e suas consequências.

As florestas urbanas e periurbanas podem exercer um papel crucial para a construção de cidades resilientes, com destaque para a vegetação e o solo das florestas urbanas

que, potencialmente, atuam como importantes sumidouros de carbono, com possibilidade de reduzir a sua vulnerabilidade (FAO, 2017). Nesta perspectiva, foi analisado o Arboreto Comemorativo dos 500 Anos do Brasil implantado em 2000 no Parque Estadual Alberto Löfgren (PEAL).

Em seus primórdios, quando da sua instalação em 1896, o Parque funcionou como um Jardim Botânico; atualmente, ainda restam na área protegida remanescentes dos primeiros plantios realizados. Com a expansão da urbanização na capital paulista, o PEAL, com 187 hectares, assumiu uma diversidade de características e de funções inerentes a parques urbanos ao mesmo tempo em que se firmou como área protegida na categoria Parque Estadual, junto ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000; SÃO PAULO, 2012).

A área protegida, inicialmente subdividida em glebas e parcelas para a implantação de coleções botânicas no então Horto Florestal, manteve o histórico de plantios solenes de árvores em arboretos técnicos e comemorativos de eventos. Assim, em celebração aos cinco séculos de descobrimento do Brasil, e como símbolo da cooperação entre o Brasil e o Japão, o Instituto Florestal juntamente com a Japan International Cooperation Agency (JICA) e Associação dos Bolsistas JICA (ABJICA) implantaram o Arboreto Comemorativo dos 500 anos do Brasil em 2000, com o cultivo de 500 mudas representativas de 50 espécies. A seleção de espécies para a coleção levou em consideração o seu valor histórico e simbólico, além do equilíbrio entre os diferentes grupos ecológicos.

Em 2020 foram inventariados 604 indivíduos arbóreos de 40 espécies instalados no Arboreto, distribuídos em 23 famílias botânicas, sendo as mais frequentes as famílias Fabaceae, Bignoniaceae e Euphorbiaceae.

Figura 2: O local do Arboreto 500 Anos em dois momentos: antes de sua implantação (2000) e 11 anos depois (2011).

Fonte: Acervo Instituto Florestal.

O desenvolvimento florestal em uma determinada área ocorre lentamente, através de um processo de sucessão ecológica, caracterizado por um gradual aumento da complexidade ecossistêmica e da substituição de espécies ao longo do tempo (ALMEIDA, 2016), sendo característico que a floresta é um mosaico de manchas em diferentes estágios sucessionais (GANDOLFI *et al.,* 1995). A sucessão ecológica se refere, portanto, à revegetação de uma área após a ocorrência de um distúrbio e inclui um conjunto de alterações direcionais de composição e estrutura nas comunidades ao longo do tempo (MEINERS; PICKETT, 2011).

Ainda que os limites entre os processos sucessionais sejam imprecisos, sua sequência temporal segue um padrão consistente e sua aplicação permite estudos comparativos e exame dos processos ecológicos. Estes processos de dinâmica da vegetação durante estágios contínuos de sucessão, abarcam o estágio inicial do povoamento, com espécies de árvores pioneiras de crescimento rápido e alta dispersão e se tem o início do estabelecimento de mudas de espécies lenhosas umbrófilas. Este estágio é seguido pela composição da área com espécies secundárias iniciais que crescem rápido como as pioneiras e são intolerantes à sombra e pelas secundárias tardias, mais tolerantes à sombra e com crescimento mais lento. Por fim, se estabelecem as espécies clímax, que são capazes de completar seu ciclo de vida apenas na sombra (CHAZDON, 2012; 2016; MEINERS; PICKETT, 2011; (GANDOLFI *et al.,* 1995; 2015).

O processo de sucessão ecológica é influenciado por diversos fatores que interagem entre si, como o histórico de uso da área, o nível de perturbação da área, a interação entre espécies, as características físicas e químicas do solo e o clima da região. A consideração dessas variáveis e das diferentes paisagens e espaços abertos de uma cidade como bens que fortalecem o sentido de pertencimento e identidade, melhoram a saúde e o bem estar humano e proporcionam serviços ecossistêmicos, é essencial para o adequado planejamento e implantação das florestas urbanas.

Em relação ao desenvolvimento do Arboreto 500 Anos, em 2003 os 10 indivíduos que mais cresceram e, consequentemente, retiraram maior quantidade de C-CO_2 eq atmosférico eram em sua maioria (90%) espécies pioneiras e 10% secundária inicial. Na avaliação realizada em 2009, essa composição seguiu a proporção 40% secundárias iniciais, 10% secundárias tardias, e 50% de espécies pioneiras, portanto se estabeleceu um maior equilíbrio entre os grupos sucessionais. No levantamento realizado em 2017, a proporção de pioneiras diminuiu para 30%; as secundárias iniciais e tardias representaram 50% e 20%, respectivamente. Em 2020, as espécies que mais se destacaram corresponderam a 10% de pioneiras, 40% de secundárias iniciais, 10% de secundárias tardias e 40% de espécies clímax.

A Figura 3 sintetiza a variação entre grupos ecológicos dos dez indivíduos que apresentaram maior crescimento, consequentemente maior retirada de C-CO_2 eq atmosférico, nos períodos 2003, 2009, 2017 e 2020.
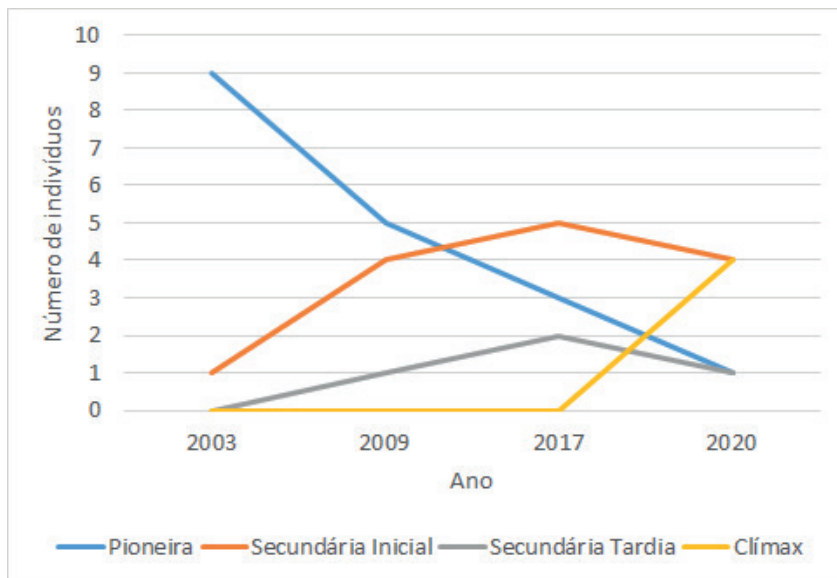
Figura 3: Proporção dos grupos ecológicos dentre os dez indivíduos que mais removeram C-CO_2 eq da atmosfera nos anos 2003, 2009, 2017 e 2020.

Verifica-se que, de maneira geral, a taxa de crescimento de determinada espécie, dentre outros fatores, está relacionada com seu respectivo grupo ecológico. Dessa maneira, em plantios heterogêneos, algumas espécies desempenham função de facilitadoras para outras (CAMPELLO; FRANCO; FARIA, 2005).

Período	Quantidade de C-CO_2 eq retirado da atmosfera (kg)	Taxa de C-CO_2 eq retirado da atmosfera (kg)
2003	4.394,48	4.394,48
2009	39.258,45	34.863,96
2017	61.084,94	21.826,49
2020	179.577,50	118.492,55

Tabela 3: Quantidade e taxa de C-CO_2 eq retirados da atmosfera pelos indivíduos do Arboreto 500 Anos de Descobrimento do Brasil.

Após 20 anos da implantação do Arboreto, a quantidade estimada de C-CO_2 eq retirado da atmosfera foi de aproximadamente 180 toneladas. As taxas anuais de incremento em C-CO_2 eq entre os anos 2003-2009; 2009-2017 e 2017-2020 foram de 5.810; 2.728 e 39.497, respectivamente. Ainda que se considere a incorporação de 104 novos indivíduos no Arboreto em 2017, a taxa anual ocorrida neste período supera demasiadamente as taxas dos períodos anteriores. Este significativo aumento se deve, notadamente, ao crescimento

dos indivíduos do grupo clímax a partir de 2017.

Ainda que o Arboreto 500 Anos seja um pequeno fragmento em uma unidade de conservação muito maior, a quantidade de carbono retirado da atmosfera por esse bosque ao longo de duas décadas evidencia o potencial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas a partir de um olhar integrado e integrador.

Esta perspectiva deve considerar as florestas urbanas e periurbanas em sua totalidade, incluindo os espaços maiores e os vazios urbanos, assim como as florestas nativas, as seminaturais, as florestas plantadas e as árvores isoladas (Figura 4).
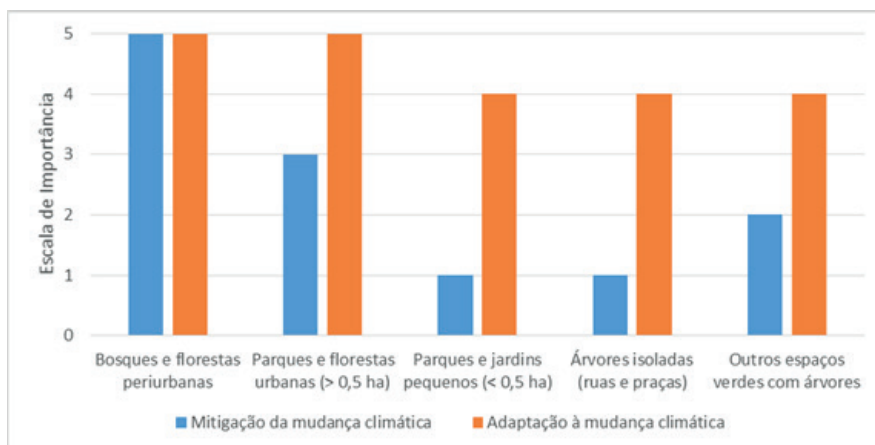
Figura 4: Importância do tipo de bosque urbano frente à mudança climática.

Fonte: Adaptado de FAO (2017).

Com o aumento da temperatura devido à mudança climática (IPCC, 2018), as áreas verdes urbanas se tornaram cada vez mais importantes, especialmente por seus efeitos diretos na atenuação do microclima urbano. Ademais, a adoção de políticas para ampliar a cobertura arbórea urbana em suas múltiplas configurações (árvores isoladas, florestas nativas e plantadas), representa uma importante estratégia para cumprir com as exigências nacionais e globais de fixação de carbono (UNFCCC, 1992). Ao mesmo tempo em que fornecem habitat para a biodiversidade e proporciona múltiplos benefícios para as sociedades humanas (FAO, 2017; DOBBS *et al.*, 2018; BORELLI *et al.*, 2018; FAO, 2018; SALDIVA *et al.,* 2020), as florestas urbanas se configuram como importante instrumento de gestão pública para as cidades (SALDIVA *et al.*, 2020).

5 I CONCLUSÃO

As florestas urbanas podem proporcionar uma ampla gama de serviços ecossistêmicos que beneficiam as pessoas que moram nas áreas urbanas e periurbanas, como também proporcionam benefícios em escala regional e global. Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram a similaridade dos indivíduos de um mesmo grupo ecológico nas taxas de crescimento e, consequentemente, na quantidade de C-CO_2 eq retirado da atmosfera.

Os resultados também contribuem para um melhor entendimento da dinâmica de plantios heterogêneos de espécies nativas e sua relação com as taxas anuais de incremento em C-CO_2 eq. e do potencial das florestas urbanas para a redução da vulnerabilidade das cidades frente à mudança climática.

Em 20 anos de implantação do Arboreto Comemorativo dos 500 Anos de Descobrimento do Brasil, foram retiradas quase 180 toneladas de C-CO_2 eq atmosférico, o que corrobora com urgência no estabelecimento de uma gestão florestal urbana que considere a totalidade da cobertura florestal e dos vazios urbanos para potencializar as medidas de mitigação e de adaptação à mudança climática, ao mesmo tempo em que os ecossistemas urbanos e seus serviços são conservados, preservados, recuperados e utilizados de forma sustentável.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial a Armando Sampaio de Rezende Neto, Maria Teresa Zugliani Toniato, Jordi Bitencourt de Lima e Letícia Colletto pela colaboração neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da mata atlântica**. 3rd ed. rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, 2016, 200 p.

BORELLI, S. *et al.* **Los bosques urbanos en el contexto global.** In. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. UNASYLVA - Revista Internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales: Bosques y Ciudades Sostenibles. n. 250. Vol. 69, 2018/1, p.3-10.

BRASIL. **Decreto nº 2.652, de 1º de julho de 1998.** Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992, 1998.

BRASIL. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências, 2000.

CHAZDON, R. **Regeneração de florestas tropicais Tropical forest regeneration.** Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi de Ciencias Naturais, v. 7, p. 195-218, 2012.

Chazdon, R. L. *et al.* **When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration.** *Ambio* 45, 538–550 (2016). https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y

CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. **Aspectos ecológicos da seleção de espécies para sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas.** Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável, v. 1, 2005.

DOBBS, C. *et al*. **Beneficios de la silvicultura urbana y periurbana.** In. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. UNASYLVA - Revista Internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales: Bosques y Ciudades Sostenibles. n. 250. Vol. 69, 2018/1, p.22-29.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **Diretrices para la silvicultrua urbana y periurbana.** Estudio FAO: MONTES, 178. Roma, 2017. 191p.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **UNASYLVA** - Revista Internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales: Bosques y Ciudades Sostenibles. n. 250. Vol. 69, 88p.

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H. de F.; BEZERRA, C. L. F. **Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecídua no município de Guarulhos, SP.** Revista brasileira de biologia, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.

GANDOLFI, S. **Sucessão Ecológica.** Palestras e Anais do VI Simpósio de Restauração Ecológica - 2015: Novos Rumos e Perspectivas. Minicurso 1. Restauração ecológica de florestas tropicais: estágio atual. Instituto de Botânica de São Paulo. 2015. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/wp-content/uploads/sites/235/2016/02/Aula_Sergius_Gandolfi_IBT-Sucessao_Ecologica_20151.pdf>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambio climático 2014: Informe de síntesis.** Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global Warming of 1.5ºC: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5ºC above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** Summary for Policymakers. IPCC, Switzerland, 2018.

LUCA, E. F. *et al. Fixação de carbono em superfície e redução de gases de efeito estufa na atmosfera.* In. RODRIGUES, E. A. *et al.* **Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2020. p. 317-366.

MACDICKEN, K. G.; WOLF, G. V.; BRISCOE, C. B. **Standard research methods for multipurpose trees and shrubs.** Arlington: Winrock International Institute for Agricultural Development/ICRAF, 1991. 92p. (Multipurpose Tree Species Network Series: Manual, 5).

McDONALD, R. *et al.* **Nature in the Urban Century: A global assessment of where and how to conserve nature for biodiversity and human wellbeing.** The Nature Conservancy - TNC., 2018.

PICKETT, S. T A.; MEINERS, S. J.; CADENASSO, M. L. **Domínio e proposições da teoria da sucessão.** Teoria da ecologia , p. 185-218, 2011.

PESSOA, S. G.; MARTINS, M. A. **Sequestro de carbono em região de cerrado em mato grosso: contribuição para o equilíbrio do clima.** Connection Line - Revista Eletrônica do UNIVAG, n. 12, 2015.

RODRIGUES, E. A. *et al.* **Serviços ecossistêmicos e políticas públicas: subsídios para a conservação ambiental e o bem-estar humano na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo.** *In.* Diálogos socioambientais na Macrometrópole Paulista. Vol. 3. N. 3, jul/2019. 52p., p. 22-26.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente; Instituto Florestal. **Parque Estadual Alberto Lofgren: Plano de Manejo.** Coordenadores: Ana Lucia Arromba, Cristiane Leonel et al. 1.ed.; São Paulo, Instituto Florestal, 2012.

SALDIVA, P. H. N. *et al. Qualidade do ar.* In. RODRIGUES, E. A. *et al.* **Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2020. p. 275-315.

SILVEIRA, P. *et al.* **O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais.** Floresta, v. 38, n. 1, 2008.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **United Nations Framework Convention on Climate Change.** 1992. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change**. Land Use.** In: UNFCCC Topics. Disponível em: <https://unfccc.int/topics#:d6466783-27a7-4ddf-b357-58474e555a5e>.

UNITED NATIONS. **General Assembly. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.** [A/res/70/1], 2015. Disponível em: <https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E>.

UNITED NATIONS. Department of Economic and social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects 2018: Highlights.** (ST/ESA/SER.A/421), 2019, 38 p.

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals.** 2021. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.

CAPÍTULO 5

ESTOQUE DE SERAPILHEIRA E NUTRIENTES: INDICADORES DA RESTAURAÇÃO DE ECOSSISTEMAS DEGRADADOS PELA MINERAÇÃO DE BAUXITA NA AMAZÔNIA

Data de aceite: 01/04/2021
Data de submissão: 04/03/2021

Julia Isabella de Matos Rodrigues
Universidade Federal Rural da Amazônia, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/8014030704078011

Walmer Bruno Rocha Martins
Universidade Federal Rural da Amazônia, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas
Belém - Pará
http://lattes.cnpq.br/4159864563302567

Victor Pereira de Oliveira
Universidade Federal Rural da Amazônia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais
Belém - Pará
http://lattes.cnpq.br/5846914048807165

Gracialda Costa Ferreira
Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias
Belém - Pará
http://lattes.cnpq.br/4250668524181387

Victor Moreira Barbosa
Mineração Paragominas SA
Paragominas - Pará
http://lattes.cnpq.br/8935907639350601

Francisco de Assis Oliveira
Universidade Federal Rural da Amazônia, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas
Belém-Pará
http://lattes.cnpq.br/4380083085706495

RESUMO: O Pará destaca-se como maior exportador de minérios da Amazônia, contribuindo de maneira significativa para a economia do estado. Apesar dos benefícios econômicos, essas atividades ocasionam intensos impactos ambientais, que podem ser minimizados pela restauração florestal, por meio do plantio de mudas. Entretanto, a trajetória do desenvolvimento do ecossistema deve ser monitorada periodicamente por meio de indicadores, como a serapilheira. Esta destaca-se por desempenhar importantes funções no ecossistema, como ciclagem de nutrientes e proteção mecânica do solo, que variam de acordo com a idade dos ecossistemas. Nesse sentido, por meio do estoque de serapilheira e nutrientes, objetivamos avaliar a trajetória da restauração de três ecossistemas, com diferentes idades, recuperados após mineração de bauxita. Para isso, coletamos a serapilheira nos períodos mais e menos chuvoso, com o auxílio de um coletor metálico. Posteriormente, os dados foram submetidos aos pressupostos para ANOVA e, quando atendidos, dependendo do tipo de comparação, as médias foram testadas pelo teste de Tukey e t de Student (ambos com *p-valor* < 0,05). Constatamos que o ecossistema mais jovem apresentou o menor estoque de serapilheira (4,54 ± 0.36 Mg ha^{-1}) e que não houve diferença entre as médias dos ecossistemas de 8 e 9 anos. Além disso, a ordem

decrescente de nutrientes é: N > Ca> Mg> K > Na > P. Nesse cenário, observamos que nos primeiros 7 anos de restauração, a proteção do solo é a principal função da serapilheira, e que as funções ecossistêmicas ocorrem com maior intensidade a partir de 8 anos.
PALAVRAS - CHAVE: Recuperação de áreas degradadas; plantio de mudas; indicadores funcionais; ciclagem de nutrientes.

LITER STOCK AND NUTRIENTS: INDICATORS OF THE RESTORATION OF ECOSYSTEMS DEGRADED BY THE BAUXITE MINING IN THE AMAZON

ABSTRACT: Pará stands out as the largest exporter of minerals in the Amazon, contributing significantly to the state's economy. Despite the economic benefits, these activities cause intense environmental impacts, which can be minimized by forest restoration, through the planting of seedlings. However, the trajectory of ecosystem development must be monitored periodically by means of indicators, such as litter. It stands out for playing important functions in the ecosystem, such as nutrient cycling and mechanical soil protection, which vary according to the age of the ecosystems. In this sense, through the stock of litter and nutrients, we aim to evaluate the trajectory of the restoration of three ecosystems, with different ages, recovered after bauxite mining. For this, we collect the litter in the more and less rainy periods, with the help of a metallic collector. Subsequently, the data were submitted to the assumptions for ANOVA and, when met, depending on the type of comparison, the averages were tested by the Tukey and Student's t tests (both with p-value <0.05). We found that the youngest ecosystem had the lowest litter stock (4.54 ± 0.36 Mg ha^{-1}) and that there was no difference between the averages of the 8 and 9 year old ecosystems. In addition, the decreasing order of nutrients is: N> Ca> Mg> K> Na> P. In this scenario, we observed that in the first 7 years of restoration, soil protection is the main function of litter, and that ecosystem functions occur with greater intensity from 8 years.
KEYWORDS: Recovery of degraded areas; planting of seedlings; functional indicators; nutrient cycling.

1 I INTRODUÇÃO

A mineração é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas no Brasil, sendo que, a comercialização de minerais metálicos foi responsável por uma receita superior aos 100 bilhões de reais em 2018. Na Amazônia um dos produtos mais explorados é a bauxita, da qual se obtém o alumínio. Entre os estados da Amazônia, o Pará destaca-se como maior produtor regional e nacional (ANM, 2019). Em 2018, o estado contribuiu com 88,97% da produção brasileira do alumínio por meio de exportações destinadas principalmente à América do Norte, Europa e Ásia, sendo a China o maior comprador desse minério (SIMINERAL, 2020).

Apesar do potencial econômico desempenhado pela mineração no Pará, impactos ambientais são inevitáveis (BANDYOPADHYAY; MAITI, 2019)only three of these attributes could be easily applied due to their low costs and low time requirements. These three attributes include: diversity, vegetation structure, and ecological processes. This review

article emphasizes that the criteria for the selection of the indicator species should be based upon: habitat types, abundance of species, ease of measuring, quantifying and interpreting the results, gradual enhancement with time and cost-effectiveness, sensitivity, variability of response, size, residential status, and requirements of the area. Principal component analysis was applied to calculate the reclaimed mine soil quality index (RMSQI Como exemplo disso, em 10 anos (2005-2015) a mineração na Amazônia foi responsável pela perda de 11.670 km² de floresta (SONTER et al., 2017). Com o intuito de minimizar esses impactos, a restauração dos ecossistemas degradados é uma prática obrigatória pela Constituição Federal (BRASIL, 1988), tendo o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas como o método mais utilizado globalmente (MARTINS et al., 2020b). Todavia, o processo de restauração deve ser monitorado periodicamente por meio da avaliação de indicadores, com o objetivo de corrigir possíveis impasses e avaliar o status da restauração (PRACH; WALKER, 2019).

Para isso, os indicadores funcionais são os mais utilizados devido à praticidade de coleta e monitoramento dos dados, e obtenção de respostas que demonstram a trajetória do ecossistema (MARTINS et al., 2020b). Esses indicadores estão relacionados com os processos ecológicos que ocorrem no ecossistema (MAO et al., 2019). Como exemplo desse tipo de indicador, tem-se a serapilheira, que é a camada de resíduos florestais (folhas, galhos, frutos e miscelânea) (FERNANDES et al., 2018), pois sua decomposição é um processo essencial para a manutenção dos ecossistemas (DAMACENO et al., 2020).

Adicionalmente, a serapilheira é responsável pela proteção mecânica do solo contra a erosão e lixiviação, causada pela constante precipitação pluviométrica característica do bioma amazônico (SCHUMACHER et al., 2018). Nesse sentido, buscamos responder a seguinte questão: As idades de plantio interferem na trajetória de restauração de ecossistemas degradados pela mineração de bauxita? Partindo da hipótese de que se os ecossistemas em estágios mais avançados de sucessão possuem melhor dinâmica de serapilheira e nutrientes, então o plantio de mudas com 9 anos de restauração possui os melhores indicadores de restauração florestal. Sendo assim, nosso objetivo foi avaliar a trajetória e o status da restauração de três ecossistemas após mineração de bauxita, por meio do estoque de serapilheira e nutrientes, comparando com um fragmento florestal adjacente.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na Mineração Paragominas S. A., localizada a 70 km da sede municipal de Paragominas. O clima da região é do tipo “Aw”, ou seja, quente e úmido, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 26,3 °C, com índice pluviométrico anual de aproximadamente 1.800 mm e umidade relativa do ar em torno de

81% (ALVARES et al., 2013)with well recognized simple rules and climate symbol letters. In Brazil, climatology has been studied for more than 140 years, and among the many proposed methods Köppen0s system remains as the most utilized. Considering Köppen's climate classification importance for Brazil (geography, biology, ecology, meteorology, hydrology, agronomy, forestry and environmental sciences. Foram selecionadas três áreas em processo de restauração pelo método de plantio de mudas de espécies florestais nativas e uma área referência classificada como Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012) (Tabela 1). Os solos predominantes são classificados em Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo, Plintossolo, Gleissolo e Neossolo (RODRIGUES et al., 2003). Todos os ecossistemas em restauração receberam adubação de plantio e pós plantio, conforme as exigências nutricionais. Adicionalmente houve o controle de formigas cortadeiras e de plantas daninhas invasoras durante os dois primeiros anos.

Ecossistema	Ano de plantio	Restauração (anos)	Área (ha)	Nº de parcelas
1	2009	9	71,44	8
2	2010	8	61,69	8
3	2011	7	123,23	12
Floresta de referência	------	------	------	8

Tabela 1. Características dos três ecossistemas em processo de restauração florestal em áreas de mineração de bauxita, Paragominas, Pará, Brasil.

As espécies *Croton matourensis* Aubl. e *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy foram encontradas em todos os ecossistemas em restauração e estão entre as espécies como maior Índice de Valor de Importância (IVI), sendo que a primeira apresentou maior IVI (33,31%) no ecossistema com 8 anos de restauração, enquanto a segunda, maior IVI (12,84%) no ecossistema com 9 anos de restauração (MARTINS et al., 2020a). No ecossistema de floresta, *Croton matourensis* (Aubl.) e *Tapirira guianensis* Aubl. foram as espécies com maior IVI: 24,35% e 23,9%, respectivamente (MARTINS et al., 2018b).

Estoque de serapilheira e nutrientes

A coleta da serapilheira foi realizada aleatoriamente em parcelas permanentes de 20 m x 50 m distribuídas no interior dos ecossistemas, onde as áreas menores apresentavam 8 unidades de amostra e a maior doze unidades (Tabela 1). Para a amostragem da serapilheira foi utilizado um gabarito metálico nas dimensões de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²) e 0,10 m de altura. Coletamos 6 amostras em cada parcela, totalizando 72 no ecossistema com 8 anos de restauração e 48 amostras nos demais ecossistemas. As coletas foram

realizadas nos períodos mais e menos chuvoso (março e novembro, respectivamente), ambos em 2018. Após a coleta, a serapilheira foi triada em duas frações: lenhosa (ramos e material enrijecido) e não lenhosa (folhas e material não enrijecidos), e posteriormente, seca em estufa de circulação forçada a 70 °C por 72 horas. Em seguida o material foi pesado em balança analítica digital de precisão (± 0,01 g) e a porção não lenhosa foi triturada em um moinho de lâminas do tipo Willey com peneira de 0,85 mm de abertura.

Para determinação dos nutrientes no material vegetal, a metodologia utilizada foi a descrita por Malavolta et al. (1997), na qual o extrato obtido da digestão Nitrico-perclórica foi utilizado para quantificar os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^{+}) por espectrofotometria de absorção atômica (espectrofotômetro modelo AA7000, Shimadzu®, Japão), o fósforo (P) pelo método colorimétrico (colorímetro modelo RGB-2, PCE Instruments®, Reino Unido). E o nitrogênio (N) determinado pelo método Kjeldahl (aparelho Kjeldahl, Velp Scientifca®, Itália).

Análise de dados

Para testar a hipótese, os dados de massa seca e nutrientes foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p>0.05$) e homogeneidade de variância de Bartlett ($p>0.05$). Atendidos a esses pressupostos de normalidade e homocedasticidade foi realizado a ANAVA e havendo diferença significativa ($p<0.05$) as médias entre os diferentes ecossistemas no mesmo mês foram comparadas, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para a comparação do mesmo ecossistema entre os períodos de coleta, foi realizado o teste t de Student ($p<0.05$). As análises estatísticas foram realizadas no software estatístico R versão 3.4.3 (R Core Team Development, 2017).

3 | RESULTADOS

A avaliação do estoque de serapilheira aponta a maior e a menor média para o ecossistema de referência e para o ecossistema com 7 anos, sendo de 7,12 ± 0,34 Mg ha^{-1} e 4,54 ± 0.36 Mg ha^{-1} respectivamente, ambos no mês de novembro (Fig. 1). O ecossistema de 8 anos foi semelhante ao ecossistema de referência nos dois meses de avaliação (Fig. 1), não diferindo estatisticamente.
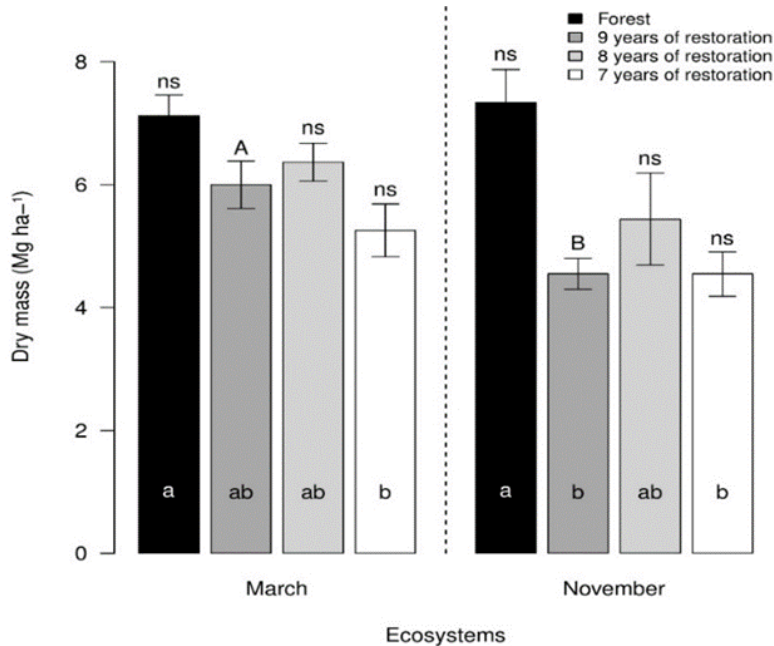
Figura 1. Estoque de serapilheira nos meses de março e novembro de 2018 em ecossistemas com diferentes idades de restauração florestal após mineração de bauxita e floresta de referência no município de Paragominas, Pará, Brasil. Médias seguidas de seus respectivos desvios-padrão com a mesma letra minúscula entre os ecossistemas no mesmo mês não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0.05$) e letras maiúsculas iguais entre os dois meses para cada ecossistema não diferem estatisticamente pelo teste de t ($p<0.05$).

As menores concentrações de P foram encontradas nos ecossistemas referência e 7 anos de restauração no período menos chuvoso, e as maiores, nos ecossistemas de 9 e 8 anos para o mesmo período (Fig. 2A). Entre os dois períodos não foi reportado diferença ($p<0.05$) entre o estoque de N para os ecossistemas referência, 9 e 8 anos de restauração, respectivamente, entretanto, houve diminuição para o ecossistema de 7 anos, sendo o único semelhante ao de referência no período mais chuvoso (Fig. 2B). Para o K^+ e Na+ (Fig. 2C-D), as maiores concentrações foram observadas em novembro, sem diferença ($p<0.05$) entre as concentrações dos ecossistemas nesse período para K^+ e com maior concentração para o ecossistema de referência para o Na^+. A concentração de Ca^{2+}, entre os dois períodos, diferiu apenas para o ecossistema de 9 anos de restauração, sendo menor no mês de novembro (Fig. 2E). Houve aumento na concentração de Mg^{2+} apenas para o ecossistema de referência no período menos chuvoso, e nesse período a concentração do nutriente só não foi menor do que o ecossistema de 9 anos de restauração (Fig. 2F).
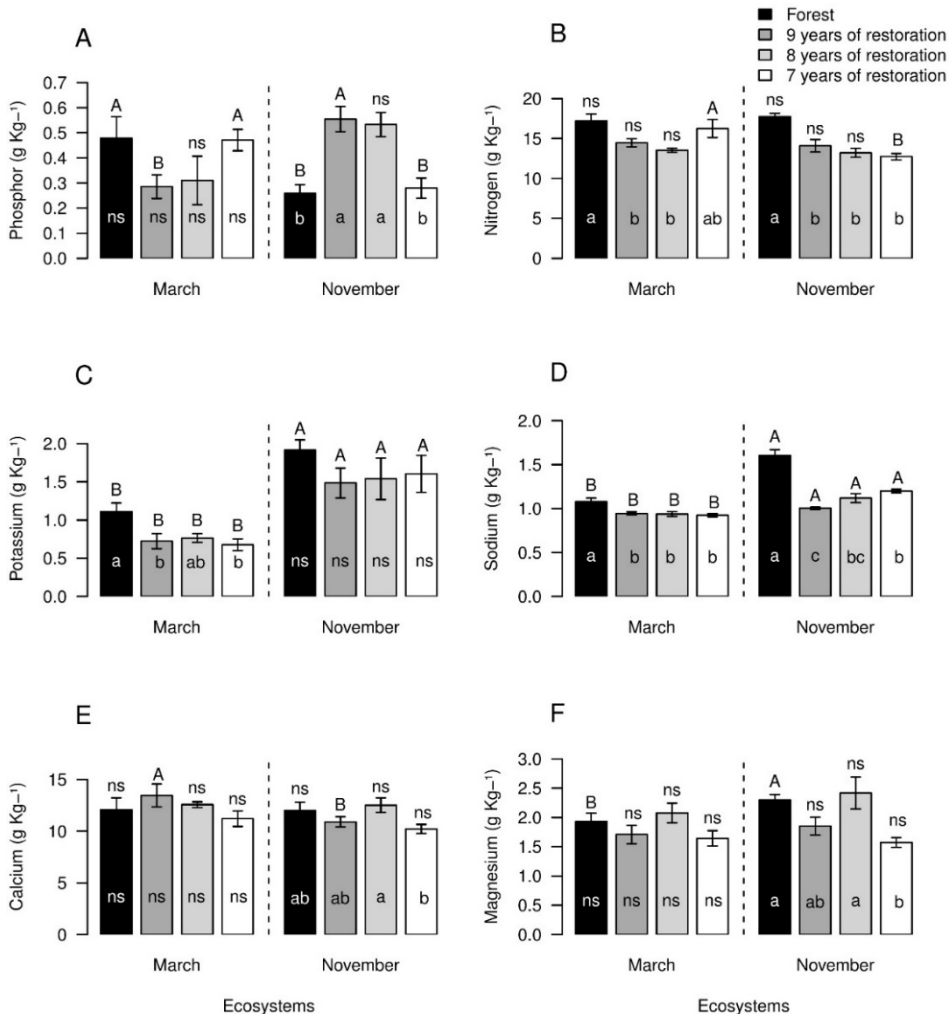
Figure 2. Concentração de nutrientes na serapilheira estocada no solo em ecossistemas em processo de restauração florestal após mineração de bauxita com 9, 8 e 7 anos de idade em uma floresta testemunha. Médias seguidas de seus respectivos erros padrões com a mesma letra minúscula entre os ecossistemas no mesmo mês não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$) e letras maiúsculas iguais entre os dois meses para cada ecossistema não diferem estatisticamente pelo teste de t ($p<0,05$). ns = diferença não significativa.

4 I DISCUSSÃO

Os nossos resultados assemelham-se com os encontrados para os demais ecossistemas em restauração e florestas em estágios inicias de sucessão na Amazônia (DEMOLINARI, 2013; SILVA et al., 2018a; TAPIA-CORAL et al., 2014). Em ecossistemas florestais o acúmulo de serapilheira é influenciado diretamente pela produção e decomposição desse material. O processo de entrada e saída da serapilheira garante a

manutenção dos serviços ecossistêmicos (KIMMINS, 1987) tendo em vista as funções por ela desempenhadas, tais quais a ciclagem de nutrientes e a proteção dos solos, sobretudo na Amazônia onde há elevada e constante precipitação pluviométrica, e os solos dispõem de poucos nutrientes (MARTINS et al., 2018a).

Em ecossistemas degradados, o estoque de serapilheira auxilia no retorno das funções ecossistêmicas e promove melhores condições edáficas para o estabelecimento de plantas (SILVA et al., 2018a). Por esse motivo, o monitoramento da matriz biogeoquímica nesse tipo de ecossistema, e a comparação com ecossistemas em estágios avançado de sucessão, permite avaliar o desenvolvimento da restauração florestal (MARTINS et al., 2021). Após 8 anos de restauração, mais de 60% do estoque de biomassa é recuperado (AGUS et al., 2016)understorey, litters, and soil organic under land use changes areas of open coal mining areas. The study was conducted in the coal mine concession area of PT. Berau Coal, at Site Binungan in Berau, East Kalimantan, Indonesia from September 2013 to October 2014. Data were collected from 10 plots representing ecosystem dynamics of coal mining land, consisting of: secondary forest, degraded forest; non-active mining pits; backfilling post-mining; re-vegetation forest by 2 years-old Johar (Senna siamea, o que explica a semelhança entre as médias dos estoques de serapilheira dos ecossistemas em restauração de 8 e 9 anos e o ecossistema referência. Além disso, os elevados estoques desses ecossistemas em restauração devem-se à fenologia das espécies com maior IVI, as quais trocam de folhas durante todo o ano (LÓPEZ et al., 2002)47% P e 48% K – Hölscher, 1995 e à menor decomposição em ecossistemas degradados (FROUZ, 2018).

Os baixos estoques do ecossistema de 7 anos em todos os períodos de coleta, quando comparados ao ecossistema referência, estão relacionados à maior dificuldade no estabelecimento de plantas, e consequentemente, menor produção de serapilheira (SILVA et al., 2018a). Nesse sentido, tendo em vista a baixa ciclagem de nutrientes, a serapilheira acumulada nos ecossistemas mais jovens desempenha a principal função de proteger o solo contra processos erosivos. Ao longo dos anos, a capacidade de retenção hídrica da serapilheira permite a construção de um ambiente favorável para o estabelecimento de agentes decompositores, melhorando as propriedades físicas do solo e aumentando a ciclagem de nutrientes por meio da decomposição (SILVA et al., 2018b), o que justifica a diminuição do estoque de serapilheira entre os períodos de coleta apenas no ecossistema de 9 anos. No ecossistema referência a variação entre períodos de coleta não foi observada pois apesar da rápida taxa de decomposição (SANCHES et al., 2009)dinâmica e decomposição de serrapilheira em busca da sazonalidade do microcli-ma em uma floresta tropical de transição Amazônia Cerrado, propõe-se estimar a produção de serrapilheira, por meio de caixas de coleta de 1 m 2 e o acúmulo de serrapilheira sobre o solo por meio de quadrantes de 25 x 25 cm, distribu-ídos aleatoriamente. Determinaram-se a constante de decaimento (K, há alta produção da matriz biogeoquímica em função da maior diversidade florística, fechamento do dossel e regeneração natural (SILVA et al., 2018a; VALENTINI et

al., 2014).

A concentração dos elementos é diretamente afetada pelas condições climáticas, sobretudo pela precipitação pluviométrica (SOUZA et al., 2019), e pela mobilidade dos nutrientes (MARTINS et al., 2018b). Isto foi observado neste estudo principalmente para K^+ tendo em vista o aumento de sua concentração no período menos chuvoso, em todos os ecossistemas. Além disso, maior parte deste elemento é encontrada na forma solúvel, o que o torna mais susceptível à lixiviação no solo em períodos chuvosos (FAQUIN, 2005). De maneira geral, a retranslocação dos nutrientes ocorre como uma estratégia adaptativa para a menor perda de elementos limitantes no crescimento (GODINHO et al., 2013).

O N apresentou maior teor no período chuvoso para o ecossistema de referência. Entretanto, não houve diferença entre este e o ecossistema de 7 anos, pois apesar de haver uma tendência de aumento do N em ecossistemas mais jovens (MACHADO et al., 2016)"ISSN":"1807-8621","abstract":"Internal retranslocation is an important mechanism for nutrient conservation in plants, which depends on different factors. However, there are little data about this subject, especially on tropical forest species. This study aimed to evaluate the macronutrient retranslocation dynamic and the influence of ecological (P: pioneer x NP: non-pioneer, a espécie com segundo maior IVI no ecossistema de floresta é da família Fabaceae, a qual faz associação com bactérias fixadoras (CALDEIRA et al., 2019). A não diferença estatística observada entre os ecossistemas para Ca^{2+} e Mg^{2+} no período mais chuvoso devem-se à baixa mobilidade do Ca^{2+} (CARVALHO et al., 2019) e à pouca variação da concentração de Mg^{2+} entre as espécies (FAQUIN, 2005). No período menos chuvoso, as diferenças observadas entre os ecossistemas, para a concentração dos dois elementos, estão relacionadas às estratégias adaptativas das plantas para menor perda dos nutrientes (KERBAUY, 2004). As menores concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} no ecossistema de 7 anos ocorrem, provavelmente, pelo aumento da acidez e grau de intemperismo do solo, promovendo lixiviação desses nutrientes.

No período mais chuvoso, a não diferença de P reportada entre os ecossistemas pode ocorrer devido às elevadas perdas do nutriente para o perfil do solo (SELLE, 2007). Entretanto, em períodos de estresse hídrico, onde há maior abscisão foliar, o elemento é redistribuído para outras partes da planta com o intuito de diminuir as perdas (LAMBERS; OLIVEIRA, 2019). Além disso, as adubações iniciais auxiliam no aumento das concentrações desse nutriente, como observado para os ecossistemas de 8 e 9 anos de restauração, os quais apresentaram as maiores concentrações de P no período menos chuvoso. Todavia, a idade do ecossistema é um fator que indiretamente pode influenciar o estoque de P, como no caso do ecossistema mais jovem, o qual apesar de ter recebido adubações iniciais, apresenta maior atividade metabólica e, consequentemente, consomem os nutrientes mais rapidamente (FAQUIN, 2005). Para o ecossistema de referência, a baixa concentração nesse período, ocorre devido as altas taxas de retranslocação de P nos ecossistemas florestais na Amazônia, tendo em vista a deficiência desse elemento na região (OLIVEIRA,

2015; FLORES et al., 2020).

5 I CONCLUSÃO

O estoque de serapilheira e nutrientes apresentaram-se como bons indicadores da restauração florestal e demonstraram uma trajetória amplamente positiva no processo de restauração dos ecossistemas. Percebemos um retorno gradual das funções ecossistêmicas ao longo dos anos, porém ainda é necessária a realização de mais pesquisas abrangendo outros tipos de indicadores. Observamos que nos primeiros 7 anos de restauração, a proteção do solo é a principal função da serapilheira, e que as funções ecossistêmicas (como ciclagem de nutrientes) ocorrem com maior intensidade a partir de 8 anos.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Hydro através do Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC). Este trabalho é de número BRC0030 na série de publicações da Biodiversity Research Brasil-Noruega.

REFERÊNCIAS

AGUS, C.; PUTRA, P. B.; FARIDAH, E.; WULANDARI, D.; NAPITUPULU, R. R. P. Organic carbon stock and their dynamics in rehabilitation ecosystem areas of post open coal mining at tropical region. **Procedia Engineering**, v. 159, n. June, p. 329–337, 2016.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANM. Agência Nacional de Mineração. Planejamento e estratégias para 2019: Novas perspectivas. p. 83p., 2019.

BANDYOPADHYAY, S.; MAITI, S. K. Evaluation of ecological restoration success in mining-degraded lands. **Environmental Quality Management**, v. 29, n. 1, p. 89–100, 26 set. 2019.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília - DF: Senado Federal: Centro Gráfico. p. 292p., 1988.

CALDEIRA, M. V. W.; GODINHO, T. DE O.; MOREIRA, F. L.; CAMPANHARO, Í. F.; CASTRO, K. C.; MENDONÇA, A. R. DE; TRAZZI, P. A. Litter as an Ecological Indicator of Forest Restoration Processes in a Dense Ombrophylous Lowland Forest. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, p. 1–11, 2019.

CARVALHO, H. C. DE S.; FERREIRA, J. L. S.; CALIL, F. N.; SILVA-NETO, C. D. M. E. Estoque de nutrientes na serapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, Brasil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO**, v. 7, n. May, p. 06, 2019.

DAMACENO, J. B. D.; SILVA, W. G. DA; LIMA, H. N.; FALCÃO, N. P. DE S.; PADILHA, F. DE J.; JUNIOR, A. B. DA C.; MARTINS, J. K. D.; CANIATO, M. M.; SOUZA, F. R. DE; BRITO, W. B. M.; TUCCI, C. A. F. Physical, Chemical, Morphological and Mineralogical Characterization Surface and Subsurface in Hydromorphic and Non-hydromorphic Soil of the Central Amazon. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 4, p. 245, 15 mar. 2020.

DEMOLINARI, M. DE S. M. **Dinâmica da matéria orgânica de solos em processo de reabilitaçã após mineração de bauxita. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa - UFV (Viçosa).** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2013.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral das Plantas**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras- UFLA, 2005.

FERNANDES, M. M.; SILVA, T. R.; FERREIRA, R. A.; PINTO, A. S.; MAGALHÃES, J. S.; SOUZA, I. B. A. Aporte de serapilheira em reflorestamento misto. **Acta Biológica Catarinense**, v. 5, n. 3, p. 90, 2018.

FLORES, B. M.; OLIVEIRA, R. S.; ROWLAND, L.; QUESADA, C. A.; LAMBERS, H. Editorial special issue: plant-soil interactions in the Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 450, n. 1–2, p. 1–9, 2020.

FROUZ, J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. **Geoderma**, v. 332, n. March 2017, p. 161–172, 2018.

GODINHO, T. DE O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, LUCIANO FARINHA AZEVEDO, H. C. A.; ROCHA, J. H. T. Biomassa, macronutrientes e carbono Orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 97, p. 131–144, 2013.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2ª ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. v. 39

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KIMMINS, J. P. Biogeochemistry: Cycling of Nutrients in Ecosystems. **Forest Ecology**, p. 68–129, 1987.

LAMBERS, H.; OLIVEIRA, R. S. **Plant Physiological Ecology**. [s.l: s.n.].

LÓPEZ, C. V. DA C.; BRIENZA JÚNIOR, S.; LEÃO, N. V. M.; FERREIRA, A. R.; ROSA, É. P. DE A.; SANTOS, I. A. DOS. Fenologia de espécies da floresta secundária potencialmente acumuladoras de fósforo. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. Ilhéus: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. Anais: CEPLAC-CEPEC, 2002., 2002., 2002. p. 3.

MACHADO, M. R.; SAMPAIO, P. D. T. B.; FERRAZ, J.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G. Nutrient retranslocation in forest species in the Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 1, p. 93–101, 1 jan. 2016.

MAO, X.; WEI, X.; JIN, X.; TAO, Y.; ZHANG, Z.; WANG, W. Monitoring urban wetlands restoration in Qinghai Plateau: Integrated performance from ecological characters, ecological processes to ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 101, n. January, p. 623–631, 2019.

MARTINS, W. B. R.; FERREIRA, G. C.; SOUZA, F. P.; DIONÍSIO, L. F. S.; OLIVEIRA, F. DE A. Deposição de serapilheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 37–38, 2018a.

MARTINS, W. B. R.; VALE, R. L.; FERREIRA, G. C.; ANDRADE, V. M. S.; DIONÍSIO, L. F. S.; RODRIGUES, R. P.; OLIVEIRA, F. A.; SOUZA, G. M. P. Litterfall, litter stock and water holding capacity in post-mining forest restoration ecosystems, Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 3, p. 1–9, 30 set. 2018b.

MARTINS, W. B. R.; BARROS, W. DOS S.; DIONÍSIO, L. F. S.; BEZERRA, T. G.; SANTOS, M. .; FERREIRA, G. C.; BARBOSA, V. M.; OLIVEIRA, F. A. Survival , growth and regeneration of forest species in mining areas in the Eastern Amazonia. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, p. 1–13, 2020a.

MARTINS, W. B. R.; LIMA, M. D. R.; BARROS, U. O.; AMORIM, L. S. V.-B.; OLIVEIRA, F. DE A.; SCHWARTZ, G. Ecological methods and indicators for recovering and monitoring ecosystems after mining: A global literature review. **Ecological Engineering**, v. 145, n. December 2019, p. 105707, fev. 2020b.

MARTINS, W. B. R.; SCHWARTZ, G.; RIBEIRO, S. S.; FERREIRA, G. C.; DE SOUZA BARBOSA, R.; DE PAULA, M. T.; BARBOSA, V. M.; DE ASSIS OLIVEIRA, F. Ecosystem restoration after bauxite mining: favorable indicators for Technosols construction and soil management using liming and subsoiling. **New Forests**, n. 0123456789, 12 fev. 2021.

OLIVEIRA, P. C. **Ecofisiologia de Agroecossistemas Amazônicos**. 1. ed. Jundiaí: [s.n.].

PRACH, K.; WALKER, L. R. Differences between primary and secondary plant succession among biomes of the world. **Journal of Ecology**, v. 107, n. 2, p. 510–516, 2019.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. DAS C.; SILVA, J. M. L. DA; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. DE; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. Caracterização e Classificação dos Solos do Município de Paragominas, Estado do Pará. **Embrapa**, v. ISSN 1517-, p. 55, 2003.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; DE, J.; NOGUEIRA, S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição Seasonal dynamics of the litterfall production and decomposition in tropical transitional forest. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 183–189, 2009.

SCHUMACHER, M. V.; SZYMCZAK, D. A.; TRÜBY, P.; LONDERO, E. K.; MARAFIGA, J. Aporte De Serapilheira E Nutrientes Em Uma Floresta Estacional Decidual Na Região Central Do Rio Grande Do Sul. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 532, 2018.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 4, p. 29–39, 2007.

SILVA, K. DE A.; MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; LOPES, A. T. Estoque de serapilheira em uma floresta em processo de restauração após mineração de bauxita. **Rodriguésia**, v. 69, n. 2, p. 853–861, jun. 2018a.

SILVA, W. B.; PÉRICO, E.; DALZOCHIO, M. S.; SANTOS, M.; CAJAIBA, R. L. Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 429, n. July, p. 189–197, 2018b.

SIMINERAL. **Sindicato das Indústrias Minerais do Estado do Pará. Mineração no Pará, Brasil e Mundo.**

SONTER, L. J.; HERRERA, D.; BARRETT, D. J.; GALFORD, G. L.; MORAN, C. J.; SOARES-FILHO, B. S. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1013, 18 dez. 2017.

SOUZA, H. E. N.; VITORINO, M. I.; VASCONCELOS, S. S.; MARINHO, E. R.; BISPO, C. J. C. Influência De Sistemas Precipitantes Sobre a Produção De Serapilheira Em Manguezal Da Costa Amazônica. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 54, p. 105–118, 2019.

TAPIA-CORAL, S. C.; LUIZÃO, F.; PASHANASI, B.; CASTILLO, D. DEL; LAVELLE, P. Influencia Da Massa E Nutrientes Da Liteira Sobre a Composição Dos Macro-Invertebrados Em Plantíos Florestais Na Amazônia Peruana. **Folia Amazónica**, v. 23, n. 2, p. 171, 2014.

VALENTINI, C. M. A.; SOARES, G. D. S.; SANTANA, R. A.; GUIMARÃES, A. F. D. S.; SILVA, A. H. B. Produção, Acúmulo E Decomposição De Serapilheira Em Uma Área Revegetada Do Parque Estadual Massairo Okamura Em Mato Grosso. **Holos**, v. 5, p. 211, 2014.

CAPÍTULO 6

A GESTÃO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA PREVENÇÂO DO RISCO DE INCÊNDIO: SILVICULTURA E PASTOREIO NA REDUÇÃO DA BIOMASSA COMBUSTÍVEL

Data de aceite: 01/04/2021
Data de submissão: 06/02/2021

Teresa de Jesus Fidalgo Fonseca
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista
Vila Real, Portugal
Centro de Estudos Florestais – Universidade de Lisboa
Lisboa, Portugal
https://orcid.org/0000-0001-6269-3605

Filipa Conceição Silva Torres Manso
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista
Centro de Estudos Transdisciplinares para o Desenvolvimento
Vila Real, Portugal
https://orcid.org/0000-0001-9884-7020

Cláudia Manuela da Silva Martins
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista
Vila Real, Portugal
https://orcid.org/0000-0002-7820-4914

Marina Meca Ferreira de Castro
Instituto Politécnico de Bragança
Centro de Investigação de Montanha
Bragança, Portugal
https://orcid.org/0000-0002-6368-8098

RESUMO: Os incêndios florestais são uma das principais perturbações abióticas nas florestas naturais e plantadas, afetando vastas áreas no mundo. No Sul da Europa, os incêndios rurais são episódios frequentes e recorrentes pelo que o seu risco tem de ser imperativamente incluído na gestão dos espaços florestais. Para evitar os danos causados pelo fogo é necessário considerar procedimentos de prevenção ou de redução da sua propagação. As opções mais comuns incluem a seleção das espécies arbóreas a plantar, promovendo a utilização das essências mais resistentes ao fogo, aliada à sua organização no espaço através da compartimentação, numa perspetiva de minimização de risco à escala da paisagem. Ao nível do povoamento, promove-se a redução da carga de combustível da vegetação de sub-bosque. Esta redução pode ser conseguida através da prescrição de fogo controlado, por remoção mecânica, ou pastoreio, ou, indiretamente, por gestão da densidade do coberto arbóreo. Neste trabalho considera-se a aplicação de dois métodos para a redução da biomassa combustível de sub-bosque. Um dos métodos assenta em técnicas silvícolas de gestão da densidade média entre as árvores, enquanto o outro considera a utilização de caprinos. A eficácia dos dois tipos de abordagens na redução da carga de combustível será avaliada e discutida em casos de estudo relativos à floresta portuguesa, no âmbito das atividades do Projeto FTA+siv – Florestação de Terras Agrícolas com Mais Silvicultura, Inovação e Valor.

PALAVRAS - CHAVE: Fogos rurais, tratamentos de redução de combustível.

SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN FIRE RISK PREVENTION: FORESTRY AND GRAZING IN BIOMASS REDUCTION

ABSTRACT: Forest fires are one of the main abiotic disturbances in natural and planted forests, affecting large areas all over the world. In southern European forests, rural fires are frequent with recurrent episodes. As a result, the risk of fire should be explicitly addressed in forest management. Specifically, it is necessary to consider procedures to prevent or reduce the spread. The most common options include the selection of tree species to be planted, promoting the use of the most fire-resistant essences, combined with their organization in space through fragmentation, the later for minimizing the risk at the landscape level. At the level of a settlement, the reduction of the risk is envisaged through the reduction of the fuel load of understory vegetation. This reduction can be achieved by prescribed fire, by mechanical removal or by grazing, or, indirectly by managing the density of stand. This article outlines two methods for reducing the fuel load of the understorey. One method is based on forestry techniques for managing the average density between trees, while the other concerns the use of goat grazing. The use of both approaches is discussed for case studies in the Portuguese forest, within the Project Forestation of Agricultural Land with More Silviculture, Silvopasture, Innovation and Value.
KEYWORDS: Forest fires, fuel reduction treatments.

1 | INTRODUÇÃO

Os incêndios constituem uma perturbação abiótica significativa nas florestas naturais e plantadas, afetando historicamente grandes áreas em todo o mundo. Nos territórios propensos a incêndios florestais, como sucede com os países do Sul da Europa, sob influência mediterrânica, o risco de perturbação está continuamente presente e recorrente, sendo forçoso que seja incluído na planificação dos gestores dos espaços florestais (Castro *et al.*, 2020).

Portugal é um dos países do Sul da Europa que tem sofrido elevadas perdas com os incêndios rurais, com sério impacto na área florestal. A floresta Portuguesa ocupa cerca de 3,2 milhões de hectares, representando cerca de 36,2% do território nacional. As principais espécies florestais no território nacional são o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Ait.), o eucalipto (*Eucalyptus* sp.) e o sobreiro (*Quercus suber* L.). No Quadro 1 apresentam-se os valores de área ocupada pelas espécies mais representadas no território, segundo dados do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, 2019), referentes ao último Inventário Florestal Nacional (IFN6), cuja avaliação do uso e de ocupação do solo reporta a 2015. Além das espécies referidas, inclui-se no quadro a área de azinheira (*Quercus ilex* L.), e castanheiro (*Castanea sativa* Mill.), bem como do estrato “carvalhos”, o qual inclui o agrupamento de espécies do género *Quercus* com exceção das espécies sobreiro e azinheira.

No período de 2016 a 2018, o impacto dos incêndios foi expressivo (Quadro 1), com uma elevada redução na área ocupada por povoamentos de pinheiro-bravo e de eucalipto,

segundo estimativas realizadas pela mesma fonte (ICNF, 2019).

A elevada severidade dos incêndios tem sido associada a três aspetos fulcrais relacionados com o tipo de floresta: ser altamente inflamável (dada a composição e continuidade predominante de pinheiros e de eucaliptos), estar fracamente estruturada e ser fracamente gerida, principalmente em termos de gestão dos combustíveis do sub-bosque.

		Área (10^3 ha)	
Espécie	**2015 (NFI6)**	**Perdas devido aos incêndios rurais (2016-2018)**	**2019 (estimativa)**
Pinheiro-bravo	615	-123 (20%)	492
Eucaliptos	766	-114 (15%)	652
Sobreiro	705	-4 (0,6%)	701
Azinheira	342	-1 (0,6%)	340
Carvalhos	77	-4 (5,2%)	73
Pinheiro-manso	189	-2 (1,1%)	187
Castanheiro	47	-1 (2,1%)	46

Quadro 1. Áreas arborizadas por espécie florestal, em Portugal continental, para um conjunto das espécies mais representadas. Valores obtidos no IFN6 (2015) e estimativa para 2019 com base nas áreas ardidas entre 2016 a 2018. Fonte: ICNF (2019).

As medidas preventivas de gestão do espaço florestal que são tradicionalmente consideradas para minimizar o risco de danos associados a incêndios florestais abrangem três escalas: (1) ao nível da árvore, com a seleção da espécie; (2) ao nível do povoamento, com redução de vegetação do estrato arbustivo; (3) ao nível da paisagem, através duma compartimentação do espaço, promovendo uma adequada organização e ordenamento do território.

Embora haja um conjunto de fatores que deva ser considerado na gestão do fogo à escala do povoamento, como a continuidade vertical do combustível (do estrato arbustivo para o estrato arbóreo), bem como a altura da base da copa e a densidade do copado, o combustível do sub-bosque é um componente crítico do risco de incêndio pelo que é crucial reduzir essa componente ou mantê-la em níveis reduzidos.

A redução de sub-bosque em povoamentos já existentes por gestão ativa pode ser efetuada pelo uso de fogo controlado, corte por meios mecânicos ou motomanuais, tratamento químico e pastoreio (Rigueiro *et al.*, 2005), sendo que as alternativas de gestão mais usadas nas estruturas de defesa contra incêndios são o corte da vegetação e o fogo controlado (Varela *et al.*, 2007). As principais práticas em Portugal dependem do sistema

florestal. De acordo com a síntese realizada por Fonseca *et al*. (2020), nas florestas, em geral, adota-se o equipamento motomanual (sapadores florestais) com corte e remoção de mato, desramação e desbaste. Em eucaliptal, é comum a gestão entre linhas de plantação com grade de discos ou outro tipo de intervenção mecânica, por vezes aplicação de herbicida. As intervenções mecanizadas são comuns em sistemas florestais de sobreiro (montado) e de pinheiro-manso, ainda que, no caso dos povoamentos de sobreiro sejam também comuns as lavouras e a utilização de pastoreio. O fogo controlado é aplicado em perímetros florestais e baldios, quase sempre em áreas de matos. O fogo controlado apresenta algumas vantagens, permitindo diminuir de forma eficiente a carga combustível, com custos substancialmente baixos relativamente aos meios de limpeza mecânicos ou manuais (Varela *et al*., 2014). No entanto, socialmente, por vezes é visto com alguma relutância e tecnicamente necessita de implementação muito especializada e exigente. Por outro lado, para além de atualmente, o período sazonal para a sua concretização ser já muito reduzido, no futuro, com a progressão das alterações climáticas, esse período tenderá a diminuir ainda mais (Varela et al., 2011; Duane *et al*., 2019).

A pastorícia das áreas florestais – silvopastorícia, é uma pratica ancestral que ao longo dos tempos permitiu a redução da carga combustível dos bosques, proporcionando simultaneamente um conjunto de diversos benefícios aos quais atualmente chamamos serviços de ecossistema de regulação, como a conservação da biodiversidade a diferentes escalas, melhoria da fertilidade do solo, dispersão de sementes, para além dos serviços de aprovisionamento, como carne, leite e lã (FAO, 2020). No entanto, o desenvolvimento socioeconómico das últimas décadas conduziu ao abandono das atividades rurais tradicionais e ao despovoamento das zonas rurais (Torres-Manso, 2014). A redução ou total eliminação, em algumas zonas, da pressão agro-pastoril sobre os bosques, conduziu a que estes se convertessem em zonas de elevado risco de incêndio (Castro *et al*., 2014)

A baixa pressão de pastoreio observada desde os finais do século passado sobre as áreas florestais, principalmente em regiões de montanha, levou alguns autores a propor a intensificação da carga animal a escalas locais como zonas corta-fogo (p.e. Ruiz-Mirazo *et al*., 2011). O pastoreio, como ferramenta de gestão de combustíveis em zonas corta fogo é uma prática preconizada desde finais dos anos 80 na região mediterrânica francesa (Castro *et al*., 2014). No entanto, ela deve ser usada essencialmente como técnica complementar à manutenção de intervenções iniciais de fogo e/ou corte (Torres Manso, 2014; Ruiz-Mirazo *et al*., 2005, Ruriz-Mirazo *et al*., 2007). Em Espanha no âmbito de programas de defesa contra incêndios, o pastoreio tem sido financiado para conservar a rede de corta-fogos, em algumas regiões. Também em Portugal, a Estratégia Nacional para as Florestas (EFN) refere-se ao pastoreio extensivo como técnica de gestão do combustível, no entanto a sua concretização é ainda muito incipiente (Castro *et al*., 2018).

Considerando as especificidades de aplicação dos métodos de tratamento de combustíveis, a comparação de custos não é facilmente praticável. Por um lado, há

preços estabelecidos para fogo (93,45 a 467,35 €.ha^{-1}) e corte mecânico (383,36 €.ha^{-1} e 1150,08 €.ha^{-1}) para uma grande diversidade de situações (CAOF 2015), mas para o pastoreio não, e por outro, eles têm resultados temporais diferenciados. No primeiro caso, a descontinuidade dos combustíveis produz-se imediatamente enquanto no caso do pastoreio, o efeito é progressivo.

Os custos do serviço de pastoreio para manutenção de corta-fogos na região da Andaluzia foram estimados entre 33,99 e 69,32€.ha^{-1}ano^{-1} (39,82-81,22 €.ha^{-1} ano^{-1}, se reportarmos a 2015 com taxa de inflação de 2%) em função da dificuldade de pastoreio das zonas a gerir (Varela *et al.*, 2007). De acordo com a mesma referência, o pastoreio não eliminaria completamente a necessidade de intervenções mais pesadas (corte ou fogo) nas áreas a tratar, mas poderia evitar cerca de 75% desses custos, porque permitiria alargar temporalmente as intervenções (passando a intervalos de 3 a 12 anos), devendo então falar-se em custos evitados.

O controlo da vegetação do sub-bosque através de métodos ecológicos estende-se também à utilização da silvicultura. Neste caso, assume-se como uma estratégia de longo prazo, através da qual se promove a condução do povoamento em níveis elevados de densidade de coberto arbóreo. O efeito da densidade do coberto arbóreo no desenvolvimento do sub-bosque foi descrito em vários sistemas florestais (McKenzie *et al.*, 2000; Gracia *et al.*, 2007; Coll *et al.*, 2011; Botequim *et al.*, 2015; Fonseca e Duarte, 2018; Tartarino *et al.*, 2020). No estudo realizado por Fonseca e Duarte (2018), para o pinheiro-bravo, em Portugal, os autores comprovaram a existência de relações estatisticamente significativas entre a densidade dos pinhais e o grau de sobcoberto, com valores crescentes de probabilidade a favor de ausência de vegetação, para valores mais elevados de área basal, ou de espaçamento médio entre árvores. O efeito "regulador" do coberto arbóreo na vegetação de sub-bosque pode justificar-se pela maior interceção da luz em povoamentos densos, mas também por caraterísticas químicas e físicas do solo, em situações de maior ensombramento.

Neste artigo, iremos considerar as medidas de redução do sobcoberto aplicadas ao nível do povoamento, dando ênfase ao pastoreio de caprinos. Será também apresentada uma situação na qual a vegetação de sub-bosque é controlada indiretamente, através da silvicultura, por manutenção de uma densidade elevada do coberto arbóreo. Os casos de estudo referem-se a experiências delineadas no âmbito do Projeto FTA+siv – Florestação de Terras Agrícolas com Mais Silvicultura, Inovação e Valor (2018-2021), na região Norte de Portugal. Estando as experiências com pastoreio em curso, procede-se ao contraste da técnica de pastoreio, com as outras opções, em análise SWOT, na secção de resultados.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Enquadramento

A florestação de áreas agrícolas surge a partir da reforma da Política Agrícola Comum (PAC) em 1992, e mais especificamente com a Lei do “Set-a-Side”. No seguimento desta legislação surgiram sucessivos apoios da EU para a arborização destas áreas (https://www.europarl.europa.eu/). Contudo, em consequência do abandono da agricultura e do despovoamento rural, as novas áreas arborizadas não tiveram um adequado acompanhamento técnico por parte dos seus proprietários, maioritariamente absentistas ou sem recursos financeiros para a respetiva gestão. Uma das lacunas foi a ausência de limpeza do sub-bosque, o qual para além de competir com as espécies arbóreas plantadas, foi-se acumulando, proporcionando uma elevada carga de combustível, e causando um elevado risco de incêndio. Desta forma, as arborizações efetuadas a partir de 1992, aproximadamente com cerca de vinte cinco anos, apresentam sérios riscos, apelando para uma gestão sustentável.

2.2 Localização Das Experiências Piloto

As experiências piloto (EP) localizam-se em 3 concelhos de Trás-os-Montes e Alto Douro (Portugal), concretamente em Murça (EP1), na freguesia de Palheiros, em Alfândega da Fé, na freguesia de Ferradosa (EP2 e EP3), e em Mogadouro, nas freguesias de Penas Roias (EP4) e de Vila d’Ala (EP5) (Figura 1, Quadro 2).
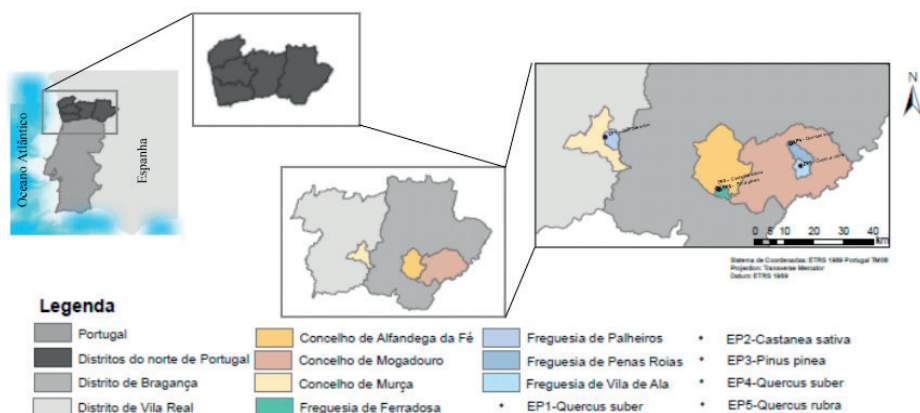
Figura 1. Localização das experiências piloto do Projeto FTA+siv.

Concelho	Murça	Alfândega da Fé		Mogadouro	
Parcela piloto (Freguesia)	EP1 (Palheiros)	EP2 (Ferradosa)	EP3 (Ferradosa)	EP4 (Penas Roias)	EP5 (Vila d'Ala)
Latitude	41º15'10,26''N	41º16'14,76''N	41º16'06,29''N	41º40'57,83''N	41º34'08,67''N
Longitude	-7º14'37,47''O	-6º57'56,41''O	-6º57'19,03''O	-6º66'50,49''O	-6º62'35,25''O
Altitude (m)	814	550	550	695	776
Exposição	Sudoeste	Norte	Norte	Sudeste	Este
Declive (%)	23	26	42	10	14

Quadro 2. Localização geográfica e caraterísticas topográficas das experiências piloto (EP).

Em termos edafo-climáticos, estes concelhos têm características distintas, embora climaticamente se enquadrem, na generalidade, num clima mediterrânico, com influência continental. No Quadro 3 caraterizam-se as principais variáveis edafo-climáticas para os locais onde se encontram as experiências piloto. As diferenças edafo-climáticas refletem-se nas opções de arborização realizadas e espécies arbóreas existentes nas parcelas das experiências piloto.

<table>
<tr><th colspan="2">Variável</th><th>Murça
EP1</th><th colspan="2">Alfândega da Fé
EP2 e EP3</th><th colspan="2">Mogadouro
EP4 e EP5</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Clima</td><td>Temperatura média anual (ºC)</td><td>12,7</td><td colspan="2">12,9</td><td colspan="2">12,0</td></tr>
<tr><td>Precipitação média anual (mm)</td><td>1120</td><td colspan="2">803</td><td colspan="2">738</td></tr>
<tr><td>Insolação (horas)</td><td colspan="3">2600-2700</td><td>2600-2700</td><td>2500-2600</td></tr>
<tr><td>Geadas (dias)</td><td>60-70</td><td colspan="2">30-40</td><td>20-30</td><td>10-20</td></tr>
<tr><td>Radiação solar (kca/cm²)</td><td colspan="3">145-150</td><td>145-150</td><td>150-155</td></tr>
<tr><td>Humidade do ar (%)</td><td>75-80</td><td colspan="2"><65</td><td colspan="2">65-70</td></tr>
<tr><td colspan="2">Litologia</td><td colspan="5">Xistos, grauvaques</td></tr>
<tr><td colspan="2">Solo</td><td>Litossolos</td><td>Litossolos</td><td>Luvissolos</td><td colspan="2">Litossolos</td></tr>
</table>

Quadro 3. Caraterísticas edafo-climáticas das experiências piloto do Projeto FTA+siv.

A parcela experimental EP1 está instalada numa área de sobreiro (*Quercus suber*), tendo um estrato arbustivo baixo, essencialmente dominado por carqueja (*Pterospartum tridentatum*). Esta parcela é sujeita ao pastoreio extensivo de cervídeos, os quais ali são ocasionalmente observados.

Em Alfândega da Fé, a experiência piloto EP2 tem como estrato arbóreo dominante,

o castanheiro (*Castanea sativa*) para produção de madeira, sendo o estrato arbustivo dominado giestas (*Cytisus* spp.) de porte elevado, assim como, o trovisco (*Daphne gnidium*). Esta vegetação foi inicialmente sujeita a corte mecânico para permitir a entrada dos caprinos. A parcela EP3 tem como coberto arbóreo pinheiro-manso (*Pinus pinea*), sem estrato arbustivo ou vestigial.

Em Mogadouro, a experiência piloto EP4 está localizada num povoamento de sobreiro para produção de cortiça, sendo o estrato arbustivo dominado por esteva (*Cistus ladanifer*) e a EP5, encontra-se em povoamento de carvalho-americano (*Quercus rubra*) para produção de madeira, com sub-bosque de *Cistus psilosepalus* e silvas (*Rubus* sp.).

As parcelas correspondentes às experiências piloto EP1, EP, EP4 e EP5, foram selecionadas para implementação de ensaios para análise do efeito do pastoreio.

3 I MÉTODOS

3.1 Avaliação do Estrato Arbóreo

A caraterização dos povoamentos teve como suporte informação colhida em parcelas de amostragem de área pré-definida e forma circular, procedendo-se à instalação das mesmas de acordo com os protocolos adequados a esse propósito (Marques *et al.*, 2017). Nas parcelas das experiências foi medido o diâmetro a 1,30m acima do nível do solo, em todas as árvores e efetuada a avaliação da altura num subconjunto. Com base nesta informação procedeu-se à quantificação da densidade e estimativa do diâmetro médio e altura média das árvores. Para todas as experiências piloto, é conhecida a idade das árvores uma vez que os povoamentos foram instalados por plantação, dispensando outro modo de avaliação.

3.2 Avaliação do Estrato Arbustivo

Para se estudar o efeito do pastoreio de caprinos no sub-bosque dos povoamentos correspondentes às experiências EP1, EP2, EP4 e EP5, cercaram-se 5000 m^2, os quais foram igualmente divididos em áreas de 2500 m^2, sendo uma delas sujeita à intervenção dos animais e a outra considerada a parcela testemunha. Para o acompanhamento permanente da evolução do coberto vegetal, do fitovolume e da biomassa da área de intervenção, estão a ser estimadas as variáveis que a seguir se identificam, utilizando as respetivas metodologias em parcelas permanentes. A percentagem de coberto vegetal está a ser avaliada por meio de dois tipos de métodos: o método da linha de interceção (Canfield, 1941), que consiste no uso duma linha graduada para medição linear e horizontal da vegetação intercetada. Este é um método bastante preciso e é dos mais utilizados para fins de investigação. O outro método, por estimativa ocular, utiliza informação de 10 parcelas com área unitária igual a 1m^2. Trata-se de um método mais expedito para futuramente ser utilizado por gestores florestais. O objetivo da dupla avaliação é efetuar uma análise comparativa de ambas as

metodologias. Complementando a avaliação da cobertura vegetal do estrato arbustivo, com a estimativa da área ocupada pela mesma vegetação e a respetiva altura calcula-se a estrutura vegetal indicadora do fitovolume. Este parâmetro tem elevada importância dado ser correlacionável com a biomassa aérea. A biomassa aérea será obtida através de corte e determinação da matéria seca vegetal aérea, apenas em vegetação herbácea ou arbustiva para as quais não existam modelos de conversão do volume em biomassa aérea.

4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CaraterizaÇão Biométrica das Experiências Piloto

Na Figura 2, são apresentados registos fotográficos captados nas experiências piloto no período 2019-2020. As fotografias mostram os estratos arbóreo e a vegetação de sobcoberto nos diversos sistemas florestais.

Os resultados das avaliações quantitativas realizadas nas experiências piloto, para a componente arbórea e para o estrato arbustivo são apresentados, respetivamente, nos Quadros 4 e 5.

Os povoamentos das cinco experiências piloto têm idades semelhantes, mas variam quanto à densidade, sendo a EP1 a que apresenta o valor mais reduzido de número de árvores e a EP2 o valor superior. Na EP2, o valor de número de árvores inclui a contabilização dos rebentos laterais, típicos da espécie castanheiro, com altura igual ou superior a 1,30m à data do inventário.

Figura 3. Imagens das experiências piloto. Registos realizadas no período 2019-2020.

Na experiência piloto EP3, correspondente ao povoamento de pinheiro-manso, há competição entre árvores (Figura 3). A competição tem interferido no crescimento das árvores, as quais apresentam copas assimétricas (com maior diâmetro entre linha, do que na linha) e reduzida produção de pinha. Os modelos silvícolas para a espécie consideram densidades iniciais mais baixas do que as encontradas na parcela piloto, variando, entre 600 a 200 árvores por hectare, quando objetivo é a produção de fruto (Freire *et al.*, 2019).

	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5
Variável	*Quercus suber*	*Castanea sativa*	*Pinus pinea*	*Quercus suber*	*Quercus rubra*
Idade (anos)	25	24	25	25	25
Densidade (árv./ha)	570	1270	1048	915	1100
Diâmetro médio (cm)	12,2	5,8	17,5	–	–
Altura média (m)	4,9	5,9	7,8	–	–

Quadro 4. Caraterização geral do estrato arbóreo nas experiências piloto.

Os valores preliminares, anteriormente à introdução de caprinos, em termos de coberto e fitovolume da vegetação arbustiva nas parcelas de Murça e de Alfândega da Fé são apresentados no Quadro 5. Para estas parcelas, os dados de coberto foram obtidos por estimativa ocular, devendo ser salientado que no caso da parcela de Alfândega da Fé, foram obtidos um ano e meio após o corte mecânico. A EP3 apresentava valores nulos ou vestigiais de vegetação de sobcoberto.

	EP1		EP2	
Variável	% de coberto	Volume (m^3/ha)	% de coberto	Volume (m^3/ha)
Herbáceas	10,9	–	6,8	–
Pterospartum tridentatum	39,6	1346,4		
Erica spp.	7,3	195,6		
Cytisus spp.			18,8	937,5
Daphne gnidium			17,5	1356,2
Q. suber			9,0	435,0

Quadro 5. Caraterização do coberto e fitovolume nas experiências piloto EP1, EP2 e EP3.

Os valores de coberto e de fitovolume determinados nas experiências piloto de Mogadouro, EP4 e EP5, estão indicados no Quadro 6.

	EP4		EP5	
Variável	% de coberto	Volume (m^3/ha)	% de coberto	Volume (m^3/ha)
Herbáceas	2	–	17	–
Cistus ladanifer	42	6178,75	19,8	1780,0
Cytisus striatus	5,5	660	10,7	1674,2
Ulmus spp.	23	1455	9,9	440,0
Lavandula	6,25	297,5		
Q. suber	1	25		
Q. rubra			1,4	52,4

Quadro 6. Caraterização do coberto e fitovolume nas experiências piloto EP4 e EP5.

4.2 Sustentabilidade de Opções de Redução do Sub-Bosque

Das cinco experiências consideradas como casos de estudo, a EP3 não possui coberto herbáceo ou subarbustivo expressivo, devido à elevada densidade arbórea em que se tem desenvolvido. Embora a condução do povoamento de pinheiro-manso não corresponda à implementação ativa de um modelo de silvicultura, mas antes, a uma gestão absentista ao longo dos anos, ilustra o efeito da silvicultura como opção estratégica de redução da vegetação de sobcoberto, à semelhança do reportado por Fonseca e Duarte (2017).

Para as experiências EP1, EP2, EP4 e EP5, está em curso a utilização da silvopastorícia como método de gestão da vegetação de sobcoberto. O projeto no qual se inserem as experiências tem permitido identificar forças e oportunidades, mas também fraquezas e obstáculos à implementação desta opção. Para ajudar os técnicos a realizarem escolhas mais esclarecidas, procedeu-se à análise SWOT do recurso à silvopastorícia, contrastando-o com outras opções, designadamente, com o fogo controlado e com a adoção de meios mecânicos. Fez-se um exercício similar para as restantes opções. O resultado das análises SWOT está sumariado no Quadro 7.

As análises permitem concluir que não existe uma metodologia ideal, nem estas são alternativas relativamente umas às outras, uma vez que estas se completam, devendo ser aplicadas complementarmente, ou não, consoante as diferentes situações em causa.

Silvopastorícia	
Forças	1. Manutenção sustentável da carga de combustível alargando até 10-12 anos o tempo para uma intervenção mais intensiva. 2. Redução substancial do uso de intervenções tradicionais (p.e., corte, fogo controlado) de gestão de combustíveis. 3. Contribuição para a conservação da biodiversidade. 4. Preservação das raças autóctones. 5. Promoção de zonas de descontinuidade do sobcoberto dos espaços florestais. 6. Aplicável em solos declivosos ou pedregosos Rendimento complementar para os criadores. 7. Formação técnicas de novos criadores. 8. Formação técnica de novos proprietários florestais. 9. Promoção de bem estar animal (abrigo e segurança alimentar). 10. Poupança até 75% dos custos de operações de manutenção tradicionais. 11. Beneficiação da riqueza da matéria orgânica no solo.
Fraquezas	1. Estábulos muito distanciados das zonas a pastorear. 2. Falta de mão de obra (pastores). 3. Idade avançada dos criadores. 4. Nem sempre se adequa a primeira intervenção. 5. Dimensão e fragmentação da propriedade florestal. 6. Politicas Europeias e instabilidade associada à produção.
Ameaças	1. Despovoamento rural. 2. Redução dos efetivos pecuários. 3. Falta de ordenamento no território rural.

Oportunidades	1. Potencial de vigilância e de deteção de incêndios pela presença de pastores no território. 2. Instalação de jovens agricultores. 3. Reconhecimento pela sociedade do efeito positivo dos animais na gestão dos combustíveis. 4. Compromissos de transição energética (podem ter benefícios indiretos, p.e. promover a criação de empregos). 5. Certificação florestal. 6. Politicas públicas de apoio a formas inovadoras de gestão de combustíveis.
Meios mecânicos	
Forças	1. Possui um período de execução alargado (sendo mais extenso do que o do fogo controlado). 2. Aplicável em áreas com elevada carga de biomassa. 3. Aplicável a áreas com grande extensão, quando realizado por meios mecânicos suportados por maquinaria pesada. 4. Permite a seleção de espécies a remover, na modalidade motomanual. 5. Adequação elevada para espécies que não regeneram vegetativamente. 6. Meios motomanuais aplicáveis a áreas com declives acentuados.
Fraquezas	1. Exigente em mão-de-obra, moroso e requerendo preparação técnica. 2. Dependente das características do terreno (topografia, etc.), da dimensão da área de intervenção, do tipo de combustível florestal, da estrutura dos povoamentos florestais. 3. Efeito de eliminação dos combustíveis com ação temporal limitada (3-5 anos). 4. Custos geralmente elevados, dependentes do tipo de solo e declive. (Os custos rondam 47,92 a 1150,08 euros/ha. Fonte: CAOP.) 5. No caso do uso dos meios mecânicos, é considerado problemático, para declives superiores a 30-35% e aglomerados rochosos, devido ao aumento do risco de erosão.

Ameaças	1. Gerador potencial de erosão e de impacte na paisagem. 2. Limitação do uso em dias de elevado risco de incêndio.
Oportunidades	1. Perante dificuldade de implementação de outras técnicas. 2. Procura crescente de material lenhoso de baixa qualidade, nomeadamente para fins energéticos, ou em agricultura biológica, etc.
Fogo controlado	
Forças	1. Permite efetuar o tratamento de grandes extensões de território. 2. Diminuição da área ardida em contexto de incêndios rurais. 3. Aplicável em solos pedregosos. 4. Rápido e eficaz na redução do combustível. 5. Menos dispendioso que os meios mecânicos. (Os custos rondam 93,45 a 467,35 euros/unidade. Fonte: CAOP.)
Fraquezas	1. Depende de diversos fatores biofísicos incluindo os meteorológicos. 2. Não aplicável em zonas com elevada continuidade vertical. 3. Não aplicável em Áreas Protegidas com estatuto restritivo. 4. Número reduzido de dias com possibilidade de execução. 5. Necessita de formação específica. 6. Algumas espécies não ardem no período técnico recomendado. 7. O efeito de eliminação dos combustíveis tem ação temporal limitada (3-5 anos). 8. A sua prática não é aconselhada em declives superiores a 40-60%, devido ao aumento do risco de erosão que provoca. 9. Em espécies vegetais estimuladas pelo fogo não é recomendada.

Ameaças	1. Gerador potencial de erosão e de impacte na paisagem. 2. Imagem social negativa crescente da prática. 3. Libertação de GEE's ambiental e progressivamente mais onerosa. 4. As alterações climáticas reduzem progressivamente janela de oportunidade à sua realização.
Oportunidades	1. Compromissos de transição energética. 2. Promoção ativa pelos especialistas em fogos rurais.
Silvicultura	
Forças	1. Método expedito de regulação da vegetação, não sujeito a fatores externos (p.e., atividade humana ou disponibilidade de efetivos pecuários). 2. Não condicionado a caraterísticas topográficas ou meteorológicas. 3. Opção economicamente mais interessante em povoamentos obtidos por aproveitamento de regeneração natural.
Fraquezas	1. Reduz a multifuncionalidade. 2. A estabilidade do coberto arbóreo é assegurada por efeito de bloco, pelo que o planeamento dos desbastes tem de ser muito cuidadoso. 3. Diminui a biodiversidade.
Ameaças	1. A prescrição de manutenção do povoamento com densidades baixas com o intuito de reduzir a contiguidade das copas (evitar fogo de copas). 2. Poderá ser identificada como favorecedora do abandono rural.
Oportunidades	1. A escassez de recursos florestais levará à necessidade de gerir os povoamentos em densidades elevadas para maximização da produção.

Quadro 7. Análise SWOT de métodos usados para redução da biomassa de sobcoberto em povoamentos florestais.

5 I RECONHECIMENTO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito das atividades do Projeto FTA+siv – Florestação de Terras Agrícolas com Mais Silvicultura, Inovação e Valor (PDR2020-101-031671), financiado pelo FEADER e pelo Estado Português, no âmbito da Ação 1.1 “Grupos Operacionais” integrado na Medida 1.«Inovação» do PDR2020- Programa de Desenvolvimento Rural do Continente.

A participação da coautora Teresa Fonseca foi financiada por Fundos Nacionais, através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), projeto UIDB/00239/2020.

REFERÊNCIAS

Botequim, B.; Zubizarreta-Gerendiain, A.; Garcia-Gonzalo, J.; Silva, A.; Marques, S.; Fernandes, P.M.; Pereira, J.M.C.; Tomé, M. A model of shrub biomass accumulation as a tool to support management of Portuguese forests**. iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 8, n.2, p. 114-125. 2015. DOI: 10.3832/ifor0931-008. Disponível em: http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor0931-008. Acesso em: 15 dez. 2020.

Canfield, R. H. Application of the line interception method in sampling range vegetation. **Journal of Forestry**, v. 39, n. 4, p. 388-394, abr.1941.

Castro, M.; Ameray, A.; Castro, J. P. A new approach to quantify grazing pressure under mediterranean pastoral systems using GIS and remote sensing. **International Journal of Remote Sensing,** v. 41, n. 14, p. 5371-5387, 2020. DOI: 10.1080/01431161.2020.1731930. Disponível em: http://hdl.handle.net/10198/21724. Acesso em: 15 dez. 2020.

Castro, M.; Fernández-Núñez, E.; Castro, J. O uso dos caprinos na proteção da floresta: de velhos inimigos a novos aliados. *In:* **Capra 2014: III Reunião Nacional de Caprinicultura.** Bragança. p. 52-56, 2014. ISBN 978-972-745-174-6

Castro, M.; Fernández-Núñez, E.; Torres-Manso, F. Pastores, pastoreio e risco de incêndio: aliados, cúmplices ou concorrentes? *In:* **Orlando Simões (Ed.) O rural depois do fogo, 2018,** Coimbra, p. 155-162. ISBN 978-972-99205-8-5

Coll, L.; Gonzalez-Olabarria, J.R.; Mola-Yudego, B.; Pukkala, T.; Messier, C. Predicting understory maximum shrubs cover using altitude and overstory basal area indifferent Mediterranean forests. **European Journal of Forest Research**, v. 130, n. 1, p. 55-65, maio. 2011.

Duane, A.; Aquilué, N.; Canelles, Q.; Morán-Ordoñez, A; Cáceres, M.; Brotons, L. Adapting prescribed burns to future climate change in Mediterranean landscapes. **Science of The Total Environment**, v. 677, p. 68-83, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.348. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971931890X. Acesso em: 18 nov. 2020.

FAO. Innovative. Pastoralism. Achieving productivity and sustainability for food security. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma – Italy**. p. 12, 2020

Freire, J.; Rodrigues, G.C.; Tomé, M. Climate change impacts on *Pinus pinea* L. silvicultural system for cone production and ways to contour those impacts: a review complemented with data from permanent plots. **Forests**, v. 10, 169, p. 29, 2019. DOI: 10.3390/f10020169. Disponível em: https://www.mdpi.com/1999-4907/10/2/169. Acesso em: 7 dez. 2020.

Fonseca, T.F.; Duarte, J.C. A silvicultural stand density model to control understory in maritime pine stands. **iForest - Biogeociências e Silvicultura,** v. 10, n. 5, p. 829-836, Oct. 2017. DOI: 10.3832/ifor2173-010.

Fonseca, T.F., Matias, J.L., Gaspar, Marques, D., M.J., Fernandes, P., Cerveira, A. Revisão bibliográfica: Normativos e instrumentos para a avaliação do risco e prevenção de incêndios em Portugal. Project ForManRisk Forest Management and Natural Risks. GT2. Deliverable P.2.2. 1. V1.0.

Gracia, M.; Montané, F.; Piqué, J.; Retana, J. Overstory structure and topographic gradients determining diversity and abundance of understory shrub species in temperate forests in central Pyrenees (NE Spain**). Forest Ecology and Management**, v. 242, p. 391-397, Jan. 2007. DOI:10.1016/j.foreco.2007.01.056. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707000801. Acesso em: 7 dez. 2020.

ICNF, 2019. IFN6 – Principais resultados – relatório sumário [pdf], 34 pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa. Portugal. Disponível em http://inforcna.pt/Media/Files/201979_Ifn6PrincipaisResultadosJun2019.pdf. Acesso em: 6 fev. 2021.

Marques, CP, TF Fonseca, JC Duarte. 2017. Guia Prático de Avaliações Florestais – Dendrometria. Sílabas & Desafios - Unipessoal Lda., Faro, 230p. ISBN: 978-989-8842-17-6.

McKenzie, D.; Halpern, C.B.; Nelson, C.R. Overstory influences on herb and shrub communities in mature forests of western Washington, USA. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 10, p. 1655-1666, Oct. 2000. DOI: 10.1139/cjfr-30-10-1655. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251802338. Acesso em: 26 nov. 2020.

Rigueiro, A.; Mosquera, M. R.; Romero, R.; González, M. P.; Villarino, J. J.; López, L. 25 años de investigación en Galicia sobre sistemas silvopastorales en prevención de incendios forestales. *In:* II CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN EL SUR DE EUROPA, 2005, Barcelona.

Ruiz-Mirazo, J.; Robles, A. B.; Ramos; M. E. y González Rebollar, J. L. Las áreas pasto-cortafuegos como experiencia de selvicultura preventiva en los espacios forestales y agroforestales mediterráneos: 1. Diseño. **ResearchGate**, v. 1, p.337-343, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/39579278

Ruiz-Mirazo J.; Robles A.B.; Jiménez-Piano R.; Martínez Moya J.L; López Quintanilla J. y González Rebollar J.L., en. WILDFIRE 2007 – 4TH INTERNATIONAL WILDLAND FIRE CONFERENCE Sevilla 13 to 17 May 2007.

Ruiz-Mirazo, J.; Robles, A.B.; Jiménez, R.; Martínez-Moya, J.L.; López-Quintanilla, J.; González-Rebollar, J.L. La prevención de incendios forestales mediante pastoreo controlado: el estado del arte en Andalucía. In: 4th International Wildland Fire Conference; Sevilla, 2007, Spain. Disponível em: https://digital.csic.es/handle/10261/42910. Acesso em: 6 fev. 2021.

Ruiz-Mirazo, J., Robles A. B., y González Rebollar, J. L. Two-year evaluation of fuelbreaks grazed by livestock in the wildfire prevention program in Andalusia (Spain) , en Agriculture. **Ecosystems and Environment**, v. 141, n. 1-2, p. 13-22, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911000405?via%3Dihub. Acesso em: 26 nov. 2020.

Tartarino, P.; Greco, R.; Silva, S.S. Overstory Effects on the Understory of Aleppo Pine Plantations—Implications for Ecosystem Restoration. **Forests**, v. 11, n. 6, pp. 664, Jun. 2020. DOI: 10.3390/f11060664. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342126536. Acesso em: 14 dez. 2020

Torres-Manso, F.; Fernandes, P.; Pinto, R.; Botelho, H.; Monzon, A. Regional livestock grazing, human demography and fire incidence in the Portuguese landscape. **Forest Systems**, v. 23, n.1, pp. 15-21, Apr. 2011. DOI: 10.5424/fs/2014231-02758. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261329940. Acesso em: 5 jan. 2021.

Varela, E.; Jacobsen, J. B.; Soliñ, M. Understanding the heterogeneity of social preferences for fire prevention management. **Ecological Economics,** v. 106, pp. 91–104, Out. 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180091400216X. Acesso em: 5 jan. 2021.

Varela, E.; Calatrava, J.; Ruiz-Mirazo, J.; Jiménez, R.; González-Rebollar, J.L. Valoración económica del pastoreo en términos de costes evitados en labores de prevención de incendios forestales. *IN:* WILDFIRE, 2007 – 4TH INTERNATIONAL WILDLAND FIRE CONFERENCE, 2007, Sevilla.

Varela, E.; Ruiz-Mirazo, J.; Calatrava, J., Incorporación de las preferencias sociales a la gestión preventiva de incendios forestales. VI Fórum de Política Forestal. Titulo Congreso: Bosques y sociedad en un contexto .4-6 nov. 2008. Estación Experimental del Zaidín, Espanha. Comunicación de congreso 2011. Disponível em: http://hdl.handle.net/10261/42941. Acesso em: 5 de janeiro de 2021.

CAPÍTULO 7

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA ESTIMATIVA DO DIÂMETRO DE COPA DE *Calophyllum brasiliense* Cambess

Data de aceite: 01/04/2021

Maria Cristina Bueno Coelho
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0003-0409-0624

Marcos Vinicius Cardoso Silva
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0003-4507-0961

Caroline Cardoso Gama
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-3274-232X

Bruno Aurélio Campos Aguiar
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-4897-9807

Maurilio Antonio Varavallo
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-9113-296X

Mathaus Messias Coimbra Limeira
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-3061-6004

Mauro Luiz Erpen
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-5144-6665

Marcos Vinicius Giongo Alves
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0003-1613-6167

Yandro Santa Brigida Ataíde
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-7593-353X

André Ferreira dos Santos
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0003-0449-5111

Augustus Caeser Franke Portella
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0001-5178-9257

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de Redes Neurais Artificiais (RNA) para determinar o diâmetro de copa (DC) a partir do diâmetro à altura do peito (DAP), distribuição dos galhos (DG) e altura total (Ht) para espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess. no município de Dueré, região sul do Estado de Tocantins, em área de floresta estacional decidual aluvial sob plano de manejo florestal. Para levantamento dos dados foi feito inventário florestal sistemático por faixas, onde foram medidas as variáveis, diâmetro à altura do peito (DAP ≥ 10 cm), altura total (Ht) e distribuição dos galhos (DG), sendo estas utilizadas como variáveis de entrada no treinamento das RNAs. Também foi medido o DC para comparações com o DC estimado. Foram testadas diferentes quantidades de neurônios na

camada intermediária, variando de 1 a 10 e utilizado o algoritmo *resilient propagation* com taxa de treinamento de 80% e 20% de validação. Para avaliação das melhores RNAs foram utilizados os critérios estatísticos, quadrado médio dos resíduos (RQME %), coeficiente de correlação (r), viés, análise gráfica entre os dados observados e estimados e distribuição dos resíduos percentuais. De acordo com os resultados obtidos, pôde-se concluir que a estabilização dos resultados ocorreu a partir de quatro neurônios na camada oculta, e que a RNA 71 foi a que se melhor se ajustou ao conjunto de dados, sendo esta uma alternativa viável, possibilitando a otimização na seleção de árvores e consequentemente maior probabilidade de sucesso dos planos de manejo florestal.
PALAVRAS - CHAVE: espécies nativas; manejo florestal; distribuição dos galhos.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO ESTIMATE THE CUP DIAMETER OF *Calophyllum brasiliense* Cambess

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the efficiency of Artificial Neural Networks (ANNs) to determine the crown diameter (DC) from the diameter to breast height (DBH), branch distribution (DG) and total height (Ht) for species Calophyllum brasiliense Cambess. in the municipality of Dueré, in the southern region of the state of Tocantins, in an area of seasonal alluvial deciduous forest under a forest management plan. For data collection, a systematic forest inventory was carried out by bands, where the variables diameter at breast height (DBH ≥ 10 cm), total height (Ht) and distribution of branches (DG) were measured, being used as input variables in the training of ANNs. DC was also measured for comparisons with estimated DC. Different amounts of neurons were tested in the intermediate layer, varying from 1 to 10 and the resilient propagation algorithm was used with a training rate of 80% and 20% validation. For the evaluation of the best RNAs, the mean square criteria of the residues (RQME%), correlation coefficient (r), bias and graphical analysis between the observed and estimated data and the distribution of the percentage residues were used. According to the results obtained, it was concluded that the stabilization of the results occurred from four neurons in the hidden layer, and that RNA 71 was the one that best fitted the data set, being a viable alternative, enabling the optimization in the selection of trees and consequently greater probability of success of forest management plans.
KEYWORDS: native species; Forest management; twig distribution.

1 | INTRODUÇÃO

A fonte de energia de uma árvore provém da radiação solar, que é transformada pelo processo da fotossíntese em energia química; dessa forma, pode-se considerar que a copa é o órgão da árvore que influencia na interceptação da energia fotossintética e, consequentemente, no crescimento da árvore (SANQUETTA et al., 2014).

Segundo Leite et al. (2012), as dimensões da copa interferem na realização dos processos fisiológicos e, muitas vezes, estas são usadas como indicadoras da capacidade de uma árvore de competir por recursos. Características, como o comprimento, o diâmetro e o volume da copa, servem como indicadores de respiração fotossintética e da capacidade

de transpiração e como componentes de índices de concorrência (LEITE et al., 2012). Portanto, pode-se inferir que essas variáveis estão diretamente relacionadas com o crescimento e a produção de biomassa (NUTTO et al., 2001). Interferindo de forma direta no manejo destes povoamentos.

Além disso, a relação entre essas variáveis pode descrever o desenvolvimento das espécies ao longo dos anos e a capacidade de regeneração das áreas. Através dos raios de copa das árvores é possível calcular o diâmetro de copa, mas a obtenção do mesmo é algo trabalhoso e que requer muito tempo, porém a partir dele se obtém diversas informações sobre as espécies florestais. Pode se ter conhecimento do espaço ocupado por cada árvore, estimativas de produtividade e estabilidade dos indivíduos e até mesmo o grau de concorrência da árvore (DURLO & DENARDI, 1998).

O manejo florestal passa por mudanças em seus aspectos de pesquisas e tomada de decisão, buscando melhores estimativas, testando assim novas ferramentas e metodologias, como o uso de redes neurais artificiais (RNAs) que tem sido cada vez mais frequente, tendo apresentado resultados satisfatórios (LIMA JÚNIOR et al., 2014; SILVA et al., 2019). A utilização dessas redes se torna viável pois auxiliam nas tomadas de decisões e na redução de custos nas áreas de mensuração florestal e manejo (BINOTI et al., 2014).

As RNAs são análogas às redes e neurônios presentes no cérebro humano. São conjuntos de unidades de processamento paralelo (camadas) composto por neurônios artificiais ligados entre si de uma maneira específica para realizar uma tarefa também específica. Possuem a capacidade de relacionar e modelar várias variáveis e suas relações não lineares, podendo elas serem quantitativas e/ou qualitativas (HAYKIN, 2001).

As mesmas não precisam atender aos pressupostos estatísticos exigidos pelos modelos de regressão, devido a isso elas são empregadas em substituição dos mesmos (NUNES & GORGENS, 2016). Essa técnica desenvolve modelos preditivos para analisar relações complexas entre as variáveis sem precisar fazer suposições dos dados como linearidade, normalidade e colinearidade (RECKNAGEL, 2001).

Vários são os estudos que comprovam a eficácia das RNAs nas pesquisas em Ciências Florestais, como Silva et al. (2018) e Binoti (2010) que modelaram o crescimento de árvores individuais; Leduc et al. (2001) e Binoti et al. (2014) que realizaram modelagem por classe diamétrica; Binoti et al. (2013) estimaram a variável dendrométrica altura; Reis et al. (2018) para prognosticar a sobrevivência e a mortalidade de árvores na Amazônia e Silva et al. (2019) que estimaram o volume de madeira em um plano de manejo florestal na Amazônia brasileira através da RNA.

A hipótese aqui testada é de que a distribuição dos galhos afeta de forma direta o diâmetro de copa, a altura total, o diâmetro à altura do peito e de que o uso das RNA para determinação dessa hipótese é uma ferramenta eficiente.

Em razão da copa das árvores estar diretamente relacionada com o crescimento e a produção, este estudo teve como objetivo determinar o diâmetro de copa para *Calophyllum*

brasiliense Cambess. com o uso de RNAs em área de plano de manejo florestal sustentável (PMFS) no município de Dueré, região sul do Estado de Tocantins como subsídio ao manejo florestal da espécie.

2 I MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, com aproximadamente 440 ha, pertencente a empresa POIANI & BIANCHI Ltda., está situada no município de Dueré-TO, sob nome fantasia Madeireira Rio Formoso, localizada a latitude de 11º8'26" S e longitude 49º22'0.03" W.

O clima da região segundo Köppen é do tipo AW, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média ao longo do ano varia entre 22ºC e 28ºC, e a precipitação média anual varia entra 1.500 a 1.600 mm (KLIN & MACHADO, 2005).

Os dados foram obtidos em área de PMFS a partir do fracionamento em 18 faixas de aproximadamente 24 hectares cada. Os dados foram levantados a partir de inventário florestal sistemático por faixas. Onde foram medidas as variáveis DAP (diâmetro à altura do peito) medido em centímetros, Ht (altura total) medida em metros, DC (diâmetro de copa) medido em metros e distribuição dos galhos (DG). Para a obtenção do diâmetro de copa (DC) foram medidos dois diâmetros perpendiculares entre si, sendo o primeiro tomado no lado de maior largura da copa, metodologia também utilizada por Nutto et al. (2001), Weber (2007) e Orellana & Koehler (2008) que utilizaram 4 raios de copa. Essas medidas foram obtidas com a utilização de uma trena de 30 m, e seus limites definidos pela observação visual de cada extremidade. Para a distribuição dos galhos foi considerada a homogeneidade das folhas em quatro quadrantes (Weber, 2013). Também foi avaliado a quantidade de galhos com folhas e o percentual de folhas por galho. Para análise da qualidade da copa, verificou -se o perfil transversal da copa (Figura 1). O estabelecimento dos níveis das categorias de perfil transversal da copa foi descrito da seguinte maneira conforme Weber (2013): copa bem distribuída nos quatro quadrantes (1); copa distribuída em três quadrantes (2); copa distribuída apenas em dois ou um quadrante (3).
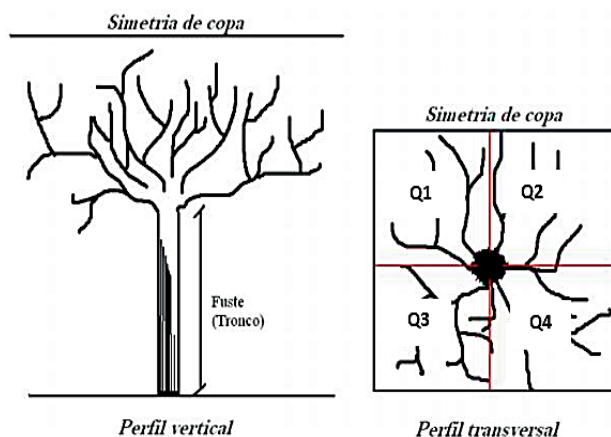
Figura 1: Representação dos quadrantes.

Fonte: Adaptado de Silva (2007)

2.1 Redes neurais artificiais (RNAs)

O modelo de rede neural Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) proposto neste trabalho baseou-se na relação entre os DAP (cm), Ht (m) e DG (quadrante) utilizados como variáveis de entrada e a rede prevê o DC (m), sendo testadas diferentes quantidades de camadas ocultas, variando de 1-10 afim de obter uma estabilização dos resultados (totalizando 200 redes treinadas), a MLP é composta de uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída. O sinal de entrada propaga-se pela rede em direção à saída, camada por camada (HAYKIN, 2001). Como algoritmo de treinamento aplicou-se o “*resilient propagation*” utilizando a variação RPROP + (HEATON, 2011) com taxa de treinamento de 80% e validação de 20%. O treinamento das RNAs foi realizado visando estimar o DC (m) como variável de saída, utilizando como variáveis de entrada a DG, DAP (cm) e Ht (m). A rede neural MLP é composta de uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas (Figura 2).
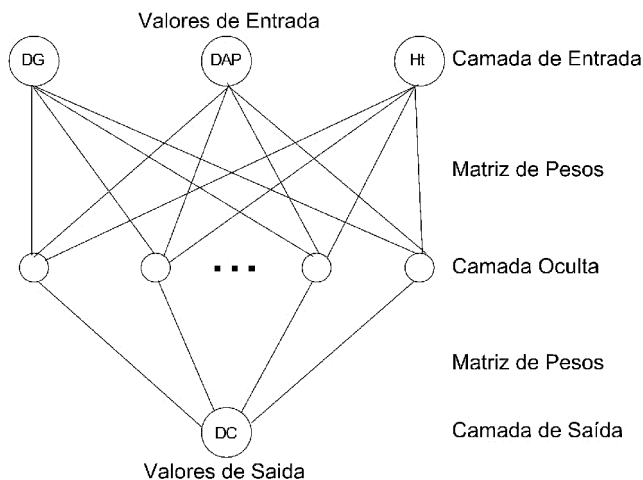
Figura 2: Arquitetura de rede utilizada para determinação de DC de *Calophyllum brasiliense* Cambess.

A princípio gerou-se o peso, aleatoriamente, de todas as redes neurais (HEATON, 2011). Com intuito de prevenir um número exagerado ou reduzido de ciclos, como critério de parada do algoritmo de treinamento, foi estabelecido um total de ciclos de 3000 ou erro quadrático médio inferior a 1% (CHEN et al., 2014), isto é conhecido como regra delta, que é quando o número máximo de épocas ou ciclos é atingido (SHIBLEE et al., 2010). Sendo assim, quando se atingiu um dos critérios acima, houve o encerramento do treinamento. Utilizou-se o programa Neuro4, versão 4.0.6 para obtenção das redes neurais.

As estimativas das RNA foram avaliadas com base nos coeficientes de correlação (equação 1) com os valores observados e a raiz quadrada do erro médio (RQME %; equação 2), bem como na análise gráfica dos resíduos (erros percentuais) e histograma de erros percentuais.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(y_i^a - \bar{y}^a\right)\left(y_i^e - \bar{y}^e\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i^a - \bar{y}^a\right)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i^e - \bar{y}^e\right)^2}} \quad (1)$$

Onde: y_i^a = vetor das distribuições dos galhos reais, y_i^e = vetor dos diâmetros de copa estimados, $\bar{y}^a$ = valor médio da distribuição dos galhos reais, $\bar{y}^e$ = valor médio do diâmetro de copa estimado, n = número de medidas de diâmetros estimados a partir das medidas de entrada na rede.

$$RQME\ (\%) = 100\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} / \bar{Y} \quad (2)$$

Em que: Y = Valor de Saída, $\hat{Y}$ = saída estimada, $\bar{Y}$ = media da saída observada, n = número de dados.

Foi realizada a distribuição de frequência agrupando os dados em intervalos de classes fixos (dez centímetros) para posterior elaboração dos histogramas, sendo a metodologia de fixar intervalos para classes de DAPs utilizada na área florestal, como exemplo podem ser citados os trabalhos desenvolvidos por Carvalho & Nascimento (2009) e Dias (2013).

Foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov a um nível de 5% de probabilidade para realizar a verificação da aderência das funções aos dados estudados. O teste foi utilizado para testar as hipóteses de H0 e H1 do teste bilateral, onde H0 = não existe evidência de que as variâncias obtidas para o conjunto de dados são diferentes e H1 = as variâncias obtidas para o conjunto de dados são diferentes. Os dados estatísticos foram calculados através do software Minitab 19.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

O histograma do DAP em função da DG indica para o treino DG1 = 21,12 %; DG2 = 40,84% e DG3 = 38,02% e para a validação DG1 = 24,19%; DG2 = 43,54% E DG3= 32,25% (figura 3a; figura 3b) indicando que a maioria das copas das árvores estão distribuídas de 1 a três quadrantes. Foi feito o teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade de confiança para determinar se existe diferença entre os DAPs e DCs observados separados por classes de DGs. O resultado indica diferença entre os DAPs da distribuição de galhos das classes de DG3 e DG2 ($p = 0.006$), mas da DG2 com a DG1 ($p = 0.606$) e DG 1 com DG3 ($p = 0.296$) não existe diferença entre as médias diamétricas. Para a variável DC o teste indicou diferença entre todas as classes de DGs sendo DG1 com DG3 ($p < 0,001$), DG1 com DG2 ($p = 0,006$) e DG2 com DG3 ($p < 0,001$) indicando que a formação da copa afeta de forma direta do diâmetro da mesma.

Tanto para o treino (70,42%) quanto para a validação (69,35%) a distribuição dos galhos indicou normalidade pois 68% dos indivíduos estavam entre mais ou menos um desvio padrão (PIMENTEL-GOMES, 1998).
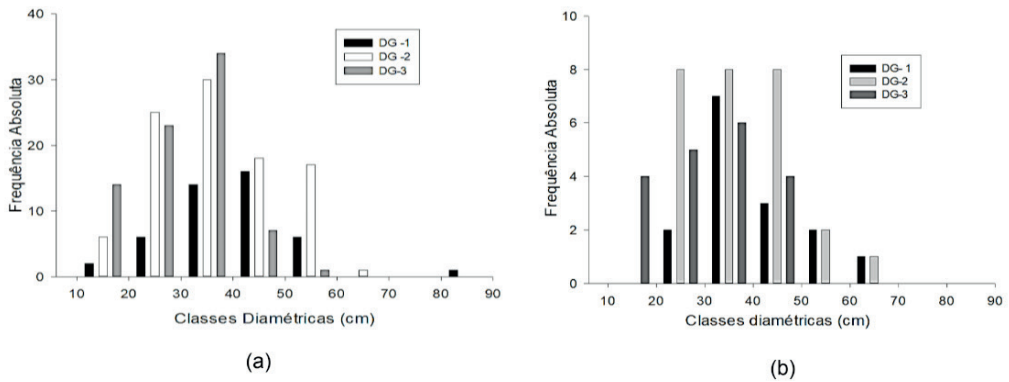
Figura 3: Distribuição dos galhos por classes diamétricas para treino (a) e validação (b)

Foram amostrados 275 indivíduos vivos, com DAP ≥ 10 cm. A densidade absoluta estimada foi de 2,5 indivíduos por hectare, área basal de 0,32 m². ha-1, diâmetro médio individual de 38,33 ± 11,18 cm e altura média de 19,19 ± 3,47 m. A média e a mediana apresentam valores próximos entre si, isto indica que o ponto central desses valores analisados é similar à média aritmética dos DC, DG, DAP e da Ht, não ocorrendo divergência demasiada para as mesmas. Para as variáveis DC, DG e DAP mostraram um coeficiente de variação alto, valores na faixa de 20 a 40% valores estes que estão de acordo com os parâmetros propostos por Pimentel-Gomes (1998), provavelmente estes valores foram superiores devido ao fato de a área ter histórico de exploração, devido ao plano de manejo florestal na área. Já para variável Ht os valores foram considerados médios (tabela 1).

Quanto a assimetria das variáveis somente para DG a curva é assimétrica negativa, para as demais é assimétrica positiva, quando o valor médio é maior que a moda e a mediana e a maior frequência dos valores mensurados está nos menores valores da distribuição. Para a curtose, com exceção da DG e DC do treino que são leptocúrtica (a curva da função de distribuição mais afunilada com um pico mais alto do que a distribuição normal), os valores indicam uma curva platicúrtica, ou seja, então a função de distribuição é mais achatada do que a distribuição normal (tabela 1).

	Treino				Validação			
Parâmetros	DC (m)	DG	DAP (cm)	Ht (m)	DC (m)	DG	DAP (cm)	Ht (m)
Média	7.89	2.138	38.08	19.29	8.47	2.080	39.16	18.83
Erro padrão	0.21	0.045	0.77	0.23	0.39	0.095	1.41	0.48
Mediana	7.41	2	38.21	18.70	8.03	2	37.26	18.00
Modo	7.39	2	38.21	17.80	0.00	2	35.03	14.30
CV%	39.72	34.9	29.49	17.47	36.61	36.19	28.44	20.31
Desvio padrão	3.13	0.746	11.23	3.37	3.10	0.753	11.14	3.82
Variância	9.83	0.557	126.15	11.35	9.63	0.567	124.14	14.64
Curtose	1.80	-1.17	0.73	-0.56	-0.57	-1.19	-0.33	-0.05
Assimetria	0.92	-0.23	0.48	0.34	0.32	-0.13	0.01	0.31
Intervalo	20.46	2	70.38	17.10	13.38	2	50.31	19.60
Mínimo	1.05	1	13.37	11.20	2.32	1	15.28	8.90
Máximo	21.51	3	83.75	28.30	15.71	3	65.60	28.50
Soma	1681.3	588	8111.0	4108.8	525.7	129	2428.5	1167.9
Contagem	213	213	213	213	62	62	62	62

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis dendrométricas analisadas para treino e validação de *Calophyllum brasiliense* Cambess. dos dados observados

A Tabela 2 apresenta a estatística dos valores médios das configurações de rede que variam de 1 a 10, assim, na configuração 1 temos 1 neurônio na camada intermediária, na configuração 2 tem-se 2 neurônios e assim sucessivamente até atingirmos os 10 neurônios.

As configurações das RNAs para estimar o DC geraram para o conjunto de treinamento valores de coeficiente de correlação que variam de 0,59 a 0,76; RQME de 25,51 a 31,60% e Viés de -0,011 a 0,008. No conjunto de dados de validação das redes para verificar a capacidade de generalização, os valores da correlação variaram de 0,72 a 0,8; RQME% de 23,36% a 26,08% com média de 25,49 % (indicando que os diâmetros de copa preditos pela MLP e pela RNA estão bastante próximos dos diâmetros reais medidos nas árvores) e viés de -0,393 a -0,506. Praticamente, todos esses coeficientes estão no intervalo de 0,59 a 0,76. Assim, existe uma correlação linear moderadamente positiva entre os diâmetros reais medidos e os preditos pela MLP e pela RNA.

Quantidade de neurônios	Treino			Validação		
	r	RQME%	Viés	r	RQME%	Viés
1	0,59	31,60	0	0,72	26,08	-0,447
2	0,67	28,93	-0,001	0,76	24,35	-0,371
3	0,72	27,28	0,011	0,78	23,86	-0,393
4	0,74	26,40	0,006	0,80	23,36	-0,444
5	0,74	26,14	0,008	0,79	23,73	-0,468
6	0,75	25,76	0,008	0,79	23,73	-0,474
7	0,76	25,63	0,005	0,78	24,10	-0,499
8	0,76	25,51	0,009	0,78	24,10	-0,491
9	0,76	25,38	0,008	0,78	24,10	-0,506
10	0,76	25,51	0,010	0,70	24,23	-0,488

r: Coeficiente de Correlação; RQME: Quadrado médio dos resíduos (%).

Tabela 2: Erros de predição do diâmetro de copa e correlação para o conjunto de treinamento e validação das MLP para DC de *Calophyllum brasiliense* Cambess.

O valor mais alto de r se encontra com quatro neurônios na camada intermediária, sendo que a partir desse momento começa a decrescer (figura 4 a). Os valores mais baixos de RQME% foram observados com quatro e seis camadas ocultas e apresentou uma estabilização a partir de sete camadas ocultas. Conforme aumentava a quantidade de camadas o valor de RQME% ia diminuindo, até que atingiu a estabilização (Figura 4 b). Os valores do Viés foram baixos e menores que 0. Se mantendo no 0 para treinamento e abaixo na validação (Figura 4 c).
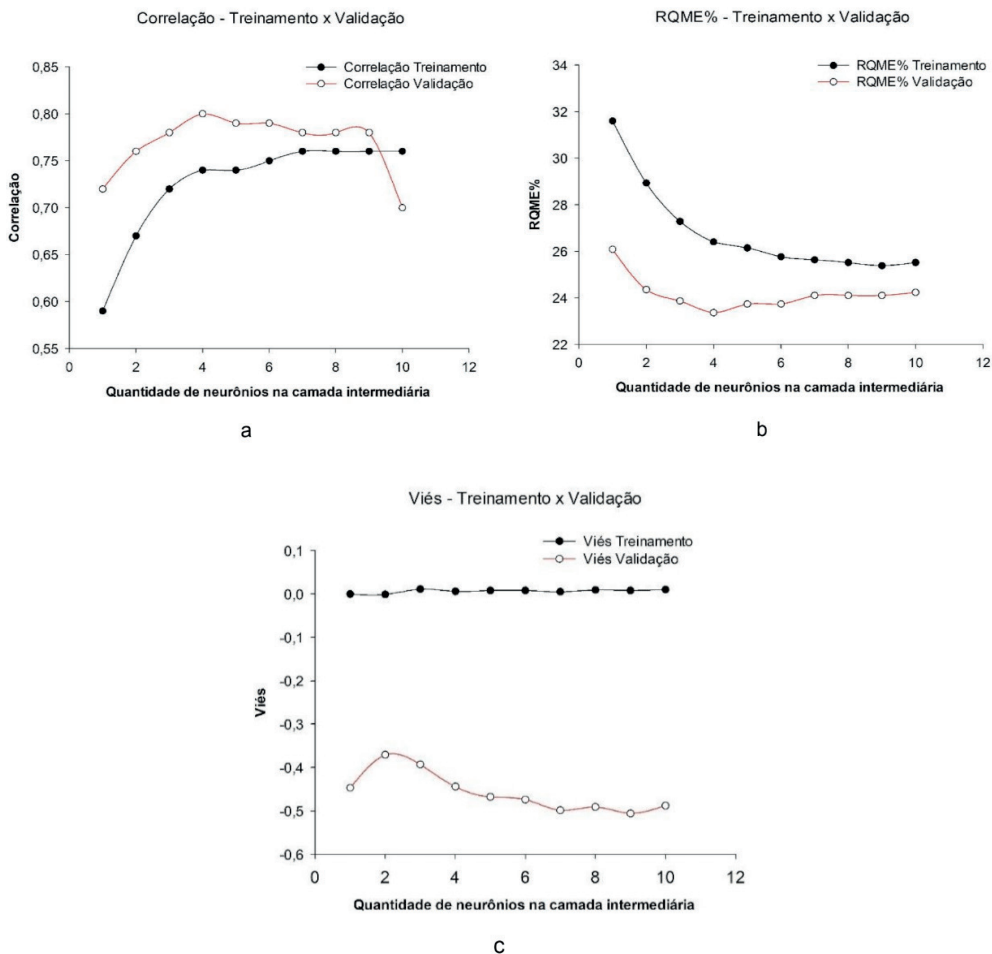
Figura 4: (a) Tendência das estatísticas RQME; (b) correlação; (c) viés; para o conjunto de treinamento e validação em função do número de neurônios na camada intermediária para estimar DC de *Calophyllum brasiliense* Cambess.

Para determinar a estrutura da MLP que mais se adequava à predição de diâmetro das árvores foram feitos vários testes, sendo que a estrutura utilizada possui uma camada de entrada com três variáveis, que representam três medidas de diâmetros, uma camada oculta com n = 10 neurônios e uma camada de saída com um neurônio, que resulta em um valor de diâmetro de copa estimado, para escolher o número de neurônios da camada oculta, no início, foi adotada a quantidade de 1 neurônios nessa camada, então esse valor foi incrementado a cada teste até que não ocorresse melhora significativa nos valores da raiz quadrada do erro médio quadrático e da correlação. A estabilização desses valores foi atingida com 4 neurônios na camada oculta (Tabela 3).

Quantidade de neurônios	RNA 71	RQME %	Correlação
1	9	23,41	0,79
2	23	23,54	0,79
3	54	22,79	0,81
4	**71**	22,67	**0,82**
5	81	22,91	0,81
6	109	22,79	0,81
7	121	25,16	0,75
8	153	22,79	0,81
9	165	23,16	0,81
10	196	23,91	0,80

RQME = Raiz quadrática média do erro (%).

Tabela 3: Estatística descritiva das melhores redes das diferentes quantidades de camadas para Calophyllum brasiliense Cambess.

Como a RNA 71 foi a que melhor se ajustou ao conjunto de dados a partir das melhores estatísticas, foi analisado o treinamento e validação com análise gráfica baseada no número de neurônios na camada intermediária (Figura 5). Sendo assim, os gráficos foram gerados com a RNA com 4 neurônios na camada intermediária para estimar DC. Observando os gráficos dos valores observados e estimados nota-se que eles apresentaram um comportamento linear crescente nos conjuntos de treinamento e validação. Já os gráficos de dispersão dos resíduos mostraram que não há tendenciosidade aparente para os conjuntos de treino e validação na estimativa do DC.
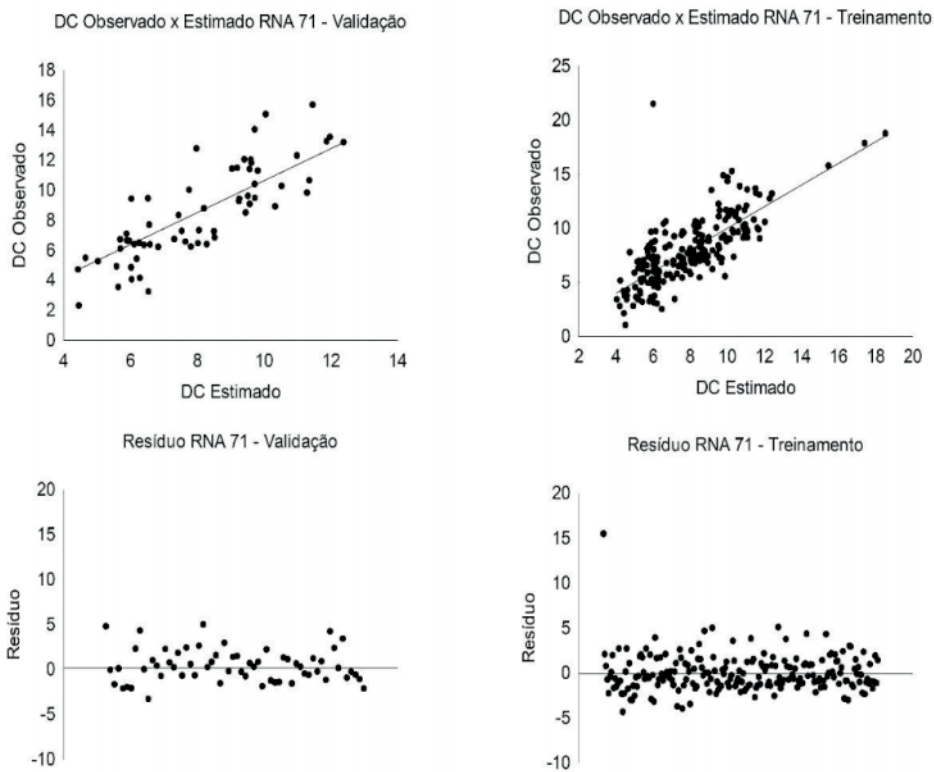
Figura 5: Diâmetro de copa observado/estimado e distribuição gráfica dos resíduos para o conjunto de treinamento e validação *Calophyllum brasiliense* Cambess., no PMFS da Madeireira Rio Formoso (TO).

A normalidade dos resíduos foi comprovada pelo teste Kolmogorov-Smirnov, para a RNA 71 considerando α = 0,01 e n = 275 o valor de 0,073 de probabilidade sendo *p* = < 0,01 e a não rejeitamos a hipótese nula e concluímos que não existem evidência de que as variâncias obtidas para o conjunto de dados, são diferentes, ao nível de significância de 1%. Infere-se assim, que não houve diferença significativa entre os DC reais e os DC estimados e, portanto, confirmou-se que a RNA 71 pode ser utilizada para determinação do DC do povoamento estudado.

Os DC observados foram divididos pelas classes de DG desta forma pode-se observar na Tabela 4 que nas classes 1 onde a quantidade de árvores é muito pequena, o maior valor de $RQME_{\%}$ é menor do que 8%. E que nas classes 2 e 3, onde a quantidade de árvores é bem maior, o maior valor de $RQME_{\%}$ está entre 7 e 14%. Embora os valores sejam grandes, a média dos $RQME_{\%}$ (erros) das classes ficou em torno de 4%, mostrando que os diâmetros estimados pela RNA 71 estão bastante próximos dos DC reais medidos nas árvores. Quanto a correlação linear entre os diâmetros estimados e a DC observada obteve valor de 0,670 a 0,714. Assim, existe uma correlação linear positiva entre os

diâmetros reais medidos e os estimados pela RNA 71.

		RQME%				
DG	N	Min.	Máx.	Média	Desvio Padrão	Correlação
1	61	0,23	7,82	3,95	1,48	0,710
2	116	0,08	7,88	3,84	1,65	0,714
3	97	0,554	13,71	3,80	1,84	0,670

Tabela 4: Erros estimados para determinação do DC por classe de distribuição dos galhos e coeficiente de correlação

A ANOVA realizada para o conjunto DC observado e DC estimado pela RNA 71 indica que de acordo com o valor $F_{calculado}$ = 3,85 é menor que $F_{tabelado}$ = 3,88 concluindo que os DC estimados são significativamente iguais aos estimados pela RNA 71 sendo aceita a hipótese de nulidade (H_0) o que indica que não houve diferença significativa entre os dados observados e dados estimados.

4 I CONCLUSÃO

A formação da copa (DG) afeta de forma direta o crescimento do DC, DAP e a Ht, sendo que a relação entre o diâmetro de copa estimado e as variáveis DAP, Ht e DG seguem uma tendência linear positiva, mesmo existindo leve inconstância devido a fatores externos.

O parâmetro diâmetro da copa de *Calophyllum brasilienses* Cambess quando estimado em razão do DAP, Ht e DG pela RNA apresentaram alto coeficiente de correlação, baixo coeficiente de variação (24,38%) e baixo erro médio sendo o uso desta ferramenta preciso e eficiente para estimativa desta variável a partir do DAP, Ht e DG.

REFERÊNCIAS

BINOTI, D. H. B., BINOTI, M. L. M. S., LEITE, H. G. Configurações de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Ciência da Madeira**, Pelotas/RS, v. 05, n. 01, 2014.

BINOTI, D. H. B.; SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; SILVA, A. A. L.; ALBUQUERQUE, A. C. Modelagem da distribuição de diâmetros utilizando autômatos celulares e redes neurais artificiais. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 677-685, 2013.

BINOTI, M. L. M. S. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G; GARCIA, S. L. R.; FERREIRA, M. Z; RODE, R.; SILVA, A. A. L. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 283-288, 2014.

CARVALHO, F. A.; NASCIMENTO, M. T. Estrutura diamétrica da comunidade e das principais populações arbóreas de um remanescente de Floresta Atlântica Submontana (Silva Jardim - RJ, Brasil). **Revista Árvore,** Viçosa, v. 33, n. 2, p. 327-337, 2009.

CHEN, W.-C.; TSENG, L.-Y.; WU, C.-S. A unified evolutionary training scheme for single and ensemble of feedforward neural network. **Neurocomputing,** v.143, n.1, p.347-361, 2014.

DIAS, M.P.C.B. **Estimativa do volume comercial de madeira utilizando medidas de cepa em plantios de eucalipto.** 2013. 44p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de Cabralea canjerana, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, nov.1998.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Porto Alegre, 2001. 900 p.

HEATON, J. **Programming neural networks with Encog3 in Java**. 2.ed. Chesterfield: Heaton Research, 2011. 240p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LEDUC, D. J.; MATNEY, T. G.; BELLI, K. L.; BALDWIN, V. C. Predicting diameter distributions of longleaf pine plantations. Asheville: U.S. Deptartment of Agriculture, **Forest Service**, Southern Research Station, 2001. 24 p.

LEITE, L. P., ZUBIZARRETA-GERENDIAIN, A., ROBINSON, A. Modeling mensurational relationships of plantation - growth loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Urugay. **Forest Ecology and Management**; 289:455-462; 2012.

LIMA JÚNIOR, C.; ACCIOLY, L.J. de O.; GIONGO, V.; LIMA, R.L.F de A.; SAMPAIO, E.V. de S.B.; MENEZES, R.S.C. Estimativa de Biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, v.42, p.289-298, 2014.

NUNES, M. H.; GÖRGENS, E. B. Artificial intelligence procedures for tree taper estimation within a complex vegetation mosaic in Brazil. **PloS ONE**, v. 11, n. 5, p. e0154738, 2016.

NUTTO, L., TONINI, H., BORSOI, G. A., MOSCOVICH, F. A., SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Colombo: Embrapa**; 2001.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de Ocotea odorífera (Vell.) Rhower. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237; 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1998. 467p.

RECKNAGEL, F. Applications of machine learning to ecological modelling. **Ecological Modelling,** v. 146, n. 1-3, p. 303-310, 2001.

REIS, L. P., SOUZA, A. L., REIS, P. C. M. R., MAZZEI, L., BINOTI, D. H. B., LEITE, H. G. Prognose da distribuição diamétrica na Amazônia utilizando redes neurais artificiais e autômatos celulares. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 48, n. 1, p. 93-102, 2018.

SANQUETTA, C. R., BEHLING, A., CORTE, A. P. D., CADORI, G. C., JUNIOR, S. C., MACEDO, J. H. P. Eficiência de conversão da radiação fotossintética interceptada em Fitomassa de mudas de Eucalyptus dunii Maiden em função da densidade de plantas e do ambiente de cultivo. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 573-580, 2014.

SHIBLEE, M.D.; CHANDRA, B.; KALRA, P.K. Learning of geometric mean neuron model using resilient propagation algorithm. **Expert Systems with Applications**, v.37, n.1, p.7449-7455, 2010.

SILVA, J. P. M.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. L.; MONTEIRO, T. C.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; MAIA, R. D. Redes neurais artificiais para estimar a densidade básica de madeiras do cerrado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, *[S. l.]*, v. 38, 2018. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201801656.

SILVA, M.V.C.; RAMOS, Y.A.; LIMEIRA, M.M.C.; COELHO, M.C.B.; SANTOS, A.F.; Giongo, M., & ERPEN, M.L. Uso de redes neurais artificiais e modelos de regressão para estimar volume de espécies nativas em Portel, Pará - Brasil. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, 17(40). 2019.

WEBER, S. K. **Manejo da Bracatinga (Mimosa seabrellaBenth.) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WEBER, S. K. **Relação morfométrica e de competição no crescimento de *Ocotea Porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso na região central de Santa Catarina**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CAPÍTULO 8

RELAÇÃO MORFOMÉTRICA E DE COMPETIÇÃO PARA O MANEJO DE *Calophyllum brasiliense* Cambess

Data de aceite: 01/04/2021
Data de submissão: 30/01/2021

Maria Cristina Bueno Coelho
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0003-0409-0624

Marcos Vinicius Cardoso Silva
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0003-4507-0961

Caroline Cardoso Gama
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-3274-232X

Bruno Aurélio Campos Aguiar
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-4897-9807

Maurilio Antonio Varavallo
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-9113-296X

Mathaus Messias Coimbra Limeira
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-3061-6004

Mauro Luiz Erpen
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-5144-6665

Yandro Santa Brigida Ataíde
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-7593-353X

Yasmin de Andrade Ramos
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-5157-7550

André Ferreira dos Santos
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0003-0449-5111

Augustus Caeser Franke Portella
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0001-5178-9257

Max Vinicios Reis de Sousa
Universidade Federal do Tocantins
Gurupi – TO
https://orcid.org/0000-0002-3509-6394

RESUMO: O *Calophyllum brasiliense* Cambess pertence à família Clusiaceae, também se desenvolve no Cerrado, em Floresta Estacional Semidecidual Aluvial. Objetivou-se determinar a relação de variáveis morfométricas e de índices de competição com o crescimento em diâmetro de *C. brasiliense* em fragmento florestal sob manejo no município de Dueré, região sul do Tocantins. Os dados desse estudo foram obtidos de 275 árvores amostradas por classe diamétrica, denominadas árvores centrais, com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ a 15,0 cm,

distribuídas em 5 faixas. Cada árvore central teve as seguintes variáveis mensuradas: altura total e altura comercial do fuste, diâmetro à altura do peito, diâmetro da copa e comprimento de copa. Posteriormente, calcularam-se parâmetros morfométricos: Porcentagem da copa, Grau de Esbeltez, Índice de Saliência, Formal de Copa e Índice de Abrangência; assim como os índices de competição: índice de Glover e Hool baseado no diâmetro; índice de Glover e Hool baseado na altura; índice de Lorimer; índice de Heygi; relação altura/distância; Basal Area of Larger Trees; dependentes e independentes da distância. A análise de correlação de Pearson foi utilizada para verificar a relação entre as variáveis morfométricas, os índices de competição e as árvores de *C. brasiliense*. Conclui-se que existe associação entre o incremento em diâmetro de *C. brasiliense* e a competição, sendo que o crescimento em diâmetro possui maior relação negativa com os índices de Glover e Hool baseado no diâmetro (IGHD), número de árvores por hectare (N), índice de Lorimer (IL), índice de Heygi (IH) e relação altura/distância (RHL).
PALAVRAS - CHAVE: Floresta Nativa, Landi, Biometria Florestal, Manejo florestal.

MORPHOMETRIC AND COMPETITION RELATIONSHIP FOR THE MANAGEMENT OF *Calophyllum brasiliense* Cambess

ABSTRACT: *Calophyllum brasiliense* Cambess belongs to the family Clusiaceae, also grows in the Cerrado, in seasonal alluvial semideciduous forest. The objective was to determine the relationship of morphometric variables and competition indexes with the growth in diameter of *C. brasiliense* in a forest fragment under management in the municipality of Dueré, in the southern region of Tocantins. The data in this study were obtained from 275 trees sampled by diametric class, called central trees, with a diameter at breast height (DBH) ≥ 15.0 cm, distributed in 5 bands. Each central tree had the following variables measured: total height and commercial height of the stem, diameter at chest height, crown diameter and crown length. Subsequently, morphometric parameters were calculated: Percentage of the crown, Degree of Slimness, Salience Index, Formal Cup and Coverage Index; as well as competition indexes: Glover and Hool index based on diameter; Glover and Hool index based on height; Lorimer index; Heygi index; height / distance ratio; Basal Area of Larger Trees; dependent and independent of distance. Pearson's correlation analysis was used to verify the relationship between morphometric variables, competition variables and *C. brasiliense* trees. It is concluded that there is an association between the increase in diameter of *C. brasiliense* and competition, and the growth in diameter has a greater negative relationship with the Glover and Hool indexes based on diameter (IGHD), number of trees per hectare (N), Lorimer index (IL), Heygi index (IH) and height / distance ratio (RHL).
KEYWORDS: Native Forest, Landi, Forest Biometry, Forest management.

1 | INTRODUÇÃO

O *Calophyllum brasiliense* Cambess, a primeira madeira de lei do Brasil (lei de 7 de janeiro de 1835), conhecido popularmente por Guanandi, é uma espécie florestal de considerado valor comercial e de grande importância no manejo florestal. Se apresentando como excelente opção para indústrias do setor florestal brasileiro (DUFFECKY e FOSSATI,

2009). Pode ser encontrada de norte a sul do país, pois a mesma se adapta a diversos tipos de clima e solo. É muito utilizada na fabricação de móveis finos por apresentar ótimas características silviculturais e ótima qualidade da madeira se assemelhando à madeira de mogno e cedro, chegando a substituir essas espécies em alguns países (DUFFECKY e FOSSATI, 2009; CIDRÃO, 2012). Assim, torna-se relevante o conhecimento das condições ideais de crescimento de suas árvores individuais e como a competição com outros indivíduos a influenciam, sendo assim avaliadas pela morfometria das mesmas juntamente com índices de competição (COSTA et. al., 2015).

O crescimento das árvores é influenciado por fatores genéticos da espécie, que interagem com fatores ambientais, tais como temperatura, precipitação, vento, insolação; características físicas, químicas e biológicas do solo; inclinação, altitude e exposição do terreno, e também com fatores biológicos, como a competição (FINGER, 1992). A competição talvez seja o fator biológico mais importante no manejo florestal, pois quase todas as intervenções estão relacionadas com a manipulação desse fator ou de condições que o alteram (SCHNEIDER, 2008). Conforme Vanclay (1994), muitos pesquisadores tentaram criar um índice de competição que englobasse os diferentes fatores que o afetam, contudo não obtiveram sucesso em suas tentativas. Vale salientar que, segundo Assmann (1970), o índice de competição expressa uma estimativa do espaço horizontal ocupado por cada árvore central em relação às suas vizinhas. A competição é a interação biológica que ocorre entre dois ou mais indivíduos quando os recursos são limitados ou quando a qualidade dos recursos varia e a demanda é dependente da qualidade (McNAUGHTON e WOLF, 1973).

A competição pode ser descrita em função do comprimento e diâmetro de copa, posição sociológica e tendências de crescimento, originando diferentes índices de competição, os quais expõem uma estimativa do espaço horizontal ocupado por cada árvore central em relação às suas vizinhas (ASSMANN, 1970; SCHNEIDER e FINGER, 2000; SCHNEIDER, 2008), sendo também utilizados como variáveis preditoras em modelos de árvores individuais para determinar a idade de corte (DAVIS et al., 2001).

O status competitivo de uma árvore é descrito por medidas de competição independentes ou dependentes da distância, onde os índices independentes da distância diferenciam-se dos dependentes por utilizarem medidas não espaciais, com base na distribuição dos tamanhos das árvores em uma determinada área. Nos índices dependentes da distância (espaciais), os competidores são identificados pelo seu tamanho e distância em relação à árvore-objetivo (WIMBERLY e BARE, 1996). A maioria desses índices estão relacionados a quatro fatores principais, sendo eles: número de competidores, tamanho e distância das árvores vizinhas e luminosidade (VANCLAY, 1994).

A morfometria de uma árvore e as variáveis derivadas são empregadas para reconstituir o espaço ocupado para cada árvore, transmitir uma variável das relações interdimensionais, além de permitir o estabelecimento de inferências sobre a estabilidade, a

vitalidade e a produtividade de cada indivíduo (DURLO e DENARDI, 1998), esses mesmos autores descrevem como índices morfométricos a Proporção ou Porcentagem da copa (PC), Grau de Esbeltez (GE), Índice de Saliência (IS), Formal de Copa (FC) e Índice de Abrangência (FA).

As relações entre as variáveis morfométricas (diâmetro de copa, altura, comprimento de copa e diâmetro da árvore), são de grande relevância para estudos de competição em fragmentos florestais, podendo auxiliar futuras decisões sobre desbaste, concretizando, dessa forma, a importância da determinação das dimensões de copa para fins de manejo sustentável (PADOIN e FINGER, 2010).

A hipótese aqui testada é de os índices de competição e as variáveis morfométricas afetam de forma direta o crescimento em DAP de *Calophyllum brasiliense* Cambess.

Devido à importância da competição no manejo florestal, o presente trabalho teve como objetivo determinar a relação de variáveis morfométricas e de índices de competição com o crescimento em diâmetro de *Calophyllum brasiliense* Cambess em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial sob manejo florestal no município de Dueré, região sul do estado de Tocantins.

2 I MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial no município de Dueré, sul do estado de Tocantins. A área total aproximada do remanescente é de 119 hectares e está situada entre as coordenadas 11°11’33.93”” de latitude sul e 49°41’2.47”de longitude oeste, com altitudes médias de 189 m. O fragmento está localizado em uma propriedade rural e encontra-se sob manejo florestal onde foram retiras árvores com DAP ≥ a 45 cm no ano de 2015. Está inserida na bacia hidrográfica do Rio Formoso, que pertence a região hidrográfica do Araguaia-Tocantins, localiza-se na região sul de Tocantins, sob nome fantasia Madeireira Rio Formoso.

O clima da região segundo Koppen é do tipo AW, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média ao longo do ano varia entre 22ºC e 28ºC, e a precipitação média anual varia entra 1.500 a 1.600mm (KLINK e MACHADO, 2005).

2.1 Coleta de dados

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos de indivíduos com diâmetro à altura do peito igual ou superior a 15,0 centímetros, distribuídos em cinco faixas alocadas sistematicamente. A área possui 18 faixas, com 22 ha cada (total de 440 ha) onde foram amostradas as faixas 1,7,10,13 e 18. A alocação das faixas acompanhou o gradiente de declividade do terreno, objetivando incluir maior variabilidade florística e fitossociológica, sendo que as parcelas foram instaladas e medidas no ano de 2019.

Para a determinação de quais eram as árvores centrais e quais as concorrentes,

todas as árvores das parcelas tiveram as seguintes variáveis mensuradas: altura total e altura comercial do fuste (obtidas com auxílio do hipsômetro haglof em metros); CAP (obtida com auxílio de trena graduada em milímetros) e convertida em DAP (diâmetro à altura do peito); diâmetro da copa obtido através de mensurações de quatro raios de copa nas direções fixas norte, leste, sul e oeste, determinados com auxílio de uma bússola e medidos com trena laser, tomando-se como ponto de origem o centro do tronco e distanciando-se até o ponto extremo de projeção da copa (CONDÉ et al., 2013). O comprimento de copa foi determinado pela diferença entre altura total e altura do fuste conforme ilustra a figura 1.
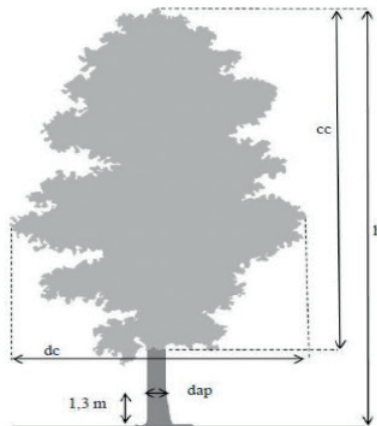
Figura 1: Variáveis morfométricas de uma árvore. Em que: dap (cm): diâmetro a altura do peito; h (m): altura total; cc (m): comprimento de copa; dc (m): diâmetro de copa. Fonte: ROMAN, 2009.

Cada árvore central teve as distâncias medidas com trena até as árvores concorrentes, consideradas todas as árvores vizinhas com diâmetro mais largo do que a largura da banda k = 1 pela amostragem pontual de Bitterlich.

Após identificação das árvores centrais, as árvores concorrentes tiveram suas alturas totais e diâmetros mensurados, para se quantificar a concorrência de cada árvore, por meio de cálculos dos índices morfometricos (tabela 1) e *índices* de competição (tabela 2), dependentes e independentes da distância da árvore central à concorrente.

Foram utilizados, o método da correlação de Pearson para verificar a existência de relação entre as variáveis morfométricas e os índices de competição com o crescimento das árvores estudadas.

Para verificação da existência de correlação pelo índice de Pearson, utilizou-se o índice probabilidade de significância, que varia de 0 a 1, sendo que quando maior do que 0,05 é não significativo, quando maior que 0,01 e menor ou igual a 0,05 é significativo e quando menor ou igual a 0,01 é altamente significativo.

Ìndice Morfométrico	Fórmula
IA	$IA = \frac{DC}{ht}$
IS	$IS = \frac{DC}{DAP}$
FC	$FC = \frac{DC}{CC}$
GE	$GE = \frac{ht}{DAP}$
APC	$APC = \frac{\pi}{4} * DC^2$
PC	$PC = \frac{CC}{ht} * 100$

Tabela 1: Índices Morfométricos na determinação da concorrência para *Calophyllum brasiliense* Cambess em Floresta Estacional Semidecidual Aluvial no sul de Tocantins

Em que: GE = grau de esbeltez, IA = índice de abrangência, IS = índice de saliência, FC= formal de copa, APC = área de projeção de copa, PC= percentual de copa, ID= independe da distância, DD = dependente da distância, IH = índice de Hegyi, RHL=razão altura/distância, IL = Índice de Lorimer IGHH Índice de Glover e Hool baseado na altura, ht= altura total (m); *DC*= diâmetro da copa (m), CC comprimento da copa (m); DAP = diâmetro a altura do peito

Índices de Competição	Fórmula
Glover e Hool	$\mathrm{IGHD} = \frac{\mathrm{DAP}_i^2}{\overline{\mathrm{DAP}}_j^2}$
IH	$IH = \sum_{j=1}^{n} \left[\frac{\overline{DAP_j}}{(\overline{DAP_i} * \overline{dist_{ij}})} \right]$
RHL	$RHL = \sum_{J=1}^{n} \frac{\bar{h}_j}{dist_{ij}}$
BAL (Basal *Area of Larger Trees)*	$bal_i = \sum_{j=1}^{n_j} G_j$
IL	$IL = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\overline{DAP_j}}{DAP_i}$
IGHH	$IGHH = \frac{ht_i}{\overline{ht}_j}$
Densidade Ótima	$AC = \frac{\pi(DC)^2}{4}$ $N = \frac{10000}{AC}$

Correlação de Pearson	$Corr\ (y,x) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y}\right)\left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x}\right)$

Tabela 2: Índices de competição na determinação da concorrência para *Calophyllum brasiliense* Cambess em Floresta Estacional Semidecidual Aluvial no sul de Tocantins

Em que: DAP_i = diâmetro à altura do peito da árvore concorrida (cm); $\overline{DAP_j}$ = diâmetro à altura do peito médio das árvores concorrentes (cm); $dist_{ij}$= distância entre a árvore concorrida e as concorrentes (cm); n = número de árvores competidoras; n = número de árvores competidoras; g = área transversal, em metros quadrados; ht_i = altura total da árvore concorrida (m); = altura total média das concorrentes (m); AC = área de copa (m); N = número de árvores por hectare (N. ha^{-1}); *DC*= diâmetro da copa (m).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostradas 275 árvores centrais, tentando-se abranger todas as classes diamétricas existentes no fragmento (Figura 02) dentro da amplitude apresentada pela espécie, de 13,38 a 83,33 cm de diâmetro, as quais foram denominadas de árvores centrais. As concorrentes foram identificadas usando-se um fator de área basal (k) = 1, conforme a amostragem pontual de Bitterlich (WEST, 2009).
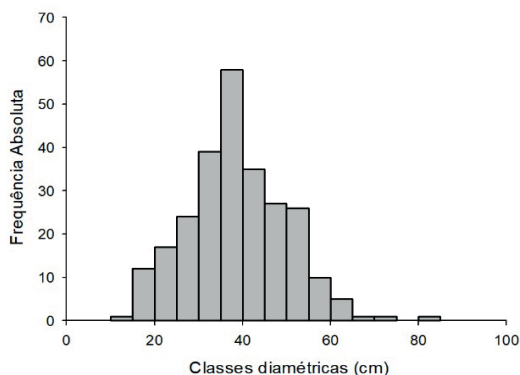
Figura 2: Frequência diamétrica do povoamento

Os valores médios, mínimos e máximos das variáveis morfométricas de *C. brasiliense* apresentaram heterogeneidade entre os indivíduos amostrados, indicada pela variabilidade dos diâmetros e alturas (tabela 3). As árvores dessa espécie possuem diâmetros de médios a altos e podem ser consideradas árvores altas e com copas relativamente pequenas para o fragmento em questão.

O grau de esbeltez, ou seja, a relação altura/diâmetro, pode indicar instabilidade contra o vento, sendo que quanto mais alto, mais instável é a árvore (DURLO e DENARDI,

1998). Valores pequenos indicam que as árvores estão crescendo mais em diâmetro do que em altura (ROVEDA et al., 2013), sendo que *C. brasiliense* obteve um grau de esbeltez (GE) variando de 22 a 112. Roman et al. (2009) também afirmaram que indivíduos com maiores valores para essa variável são mais instáveis, como o analisado por eles em um estudo com *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud., em que o grau de esbeltez para essa espécie variou de 47,8 a 130, sendo assim, pode-se dizer que *Calophylum brasiliense* é suscetível à ação do vento.

A relação entre o diâmetro de copa e a altura (IA) apresentou valor médio de 0,43; quando se leva em consideração a altura das árvores para o manejo, este índice pode ser utilizado como indicador de desbaste (ORELLANA e KOEHLER, 2008; ROVEDA et al., 2013). Quando esse fator não varia em relação à altura, pode ser utilizado para calcular a quantidade de árvores de altura 'x' por hectare, para que assim se reduza a competição intraespecífica (ISTCHUK et al., 2016). Considerando que o mesmo não varia com a altura, guanandi de 19,18 m de altura apresentariam uma copa de 8,05 m (19,18 x 0,42), com densidade ótima de N=196 árvores por hectare, as quais não sofreriam concorrência.

O IS mostrou que o diâmetro médio de copa é de aproximadamente 21 vezes maior que o DAP. Este índice pode ser utilizado, em florestas inequiâneas e mistas, para indicar o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore para que a mesma cresça sem concorrência (DURLO e DERNARDI 1998). Silva et al. (2017) encontraram para *Araucaria angustifólia* (Bertol.) Kuntze uma média de 22,2 vezes a dimensão do DAP. Roman et al. (2009) obtiveram a média de 24,7 para *Cordia trichotoma*.

A relação entre o diâmetro de copa (DC) e o comprimento de copa (CC) variou de 0,74 a 18,29 indicando que se tem tanto copas esbeltas quanto achatadas, sendo que o FC médio foi de 3,44. Orellana e Koehler (2008) estudando *Ocotea odorífera* (Vell.) Rohwer, encontraram uma média de 1,3. Silveira et al. (2014) estudando *Trichilia claussenii* C. DC. também encontraram FC maior que 1 (1,56). Já o IS foi de 0,21, sugerindo que a espécie estudada possui uma copa de 21 vezes o diâmetro de seu tronco a 1,3 m de altura (d). Segundo Durlo e Denardi (1998), em povoamentos mistos e inequiâneos, essa variável pode ser utilizada para determinar o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore selecionada para que ela cresça sem concorrência. O valor médio para o índice de abrangência, que é explicado pela relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore, foi de 0,43, afirmando que esse índice pode ser utilizado como indicador da necessidade de intervenções silviculturais, informando o número de árvores que pertencem a um hectare sem sofrer concorrência.

Comparando os parâmetros dendrométricos e morfométricos de *C. brasiliense* mostrados na tabela 3, quanto aos índices de competição independentes da distância, Glover e Hool, (1979) verificaram que *Calophylum brasiliense* (IGHD = 2,49 e IGHH = 1,22) sofre influência da concorrência. Enquanto IGHD apresentou baixa competição, IGHH revelou alta competição, pois quanto menor o valor, maior será a concorrência.

Santos (2012) encontrou valor para IGHH de 1,29 estudando *Ocotea porosa* Nees e Mart no Paraná, e afirma que essas árvores estão sob alto grau de competição, tendo seu crescimento influenciado pelas árvores vizinhas. Cunha e Finger (2012) obtiveram o valor 3,56 para um indivíduo de *Cedrela odorata* L. mostrando que houve pouca ou nenhuma competição sofrida pelo indivíduo.

Variável	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
DAP	13,38	38,33	83,76	11,20	29,22
Ht	8,90	19,19	28,50	3,48	18,13
DC	1,05	8,02	18,78	2,96	36,91
CC	0,50	2,79	10,10	1,37	49,10
APC	0,87	58,13	277,00	42,24	72,66
PC	2,68	14,76	43,02	6,80	46,07
FC	0,74	3,44	18,29	2,12	61,63
GE	22	54	112	15,99	29,61
IA	0,06	0,43	1,03	0,16	37,21
IS	0,049	0,213	0,779	14,70	6901,41

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); Ht: altura total (m); DC: diâmetro de copa (m); CC: comprimento de copa (m); APC: área de projeção de copa (m²); PC: percentagem de copa (%); FC: formal de copa; GE: grau de esbeltez; IA: índice de abrangência; IS: índice de saliência.

Tabela 3: Estatística descritiva dos parâmetros dendrométricos e morfométricos de *Calophylum brasiliense* Cambess

O índice de Lorimer, independente da distância, salienta que quanto maior o valor do índice, maior a competição exercida sobre a concorrida, o mesmo apresentou valor médio de 0,84, indicando que não houve concorrência entre os indivíduos. Resultado divergente (4,82) foi encontrado para Floresta de Araucária no Sul do Brasil, o que evidenciou alta competição entre a população (COSTA, 2015).

Analisando os índices dependentes da distância, o Índice de Heygi (IH), apresentou baixa competição (IH=0,65), ratificando os resultados encontrados pelos índices dependentes da distância. Ricken (2014) estudando povoamento natural de *Araucaria angustifólia* obteve IH=0,36. A relação altura/distância (RHL) das árvores concorrentes apresentou baixa concorrência (RHL=5,80) quando comparada à encontrada na literatura, pois Silveira et al., (2014) encontraram o valor de 18,07, indicando alta competição ocorrida entre as espécies.

A baixa competição entre os indivíduos evidencia que para se ter um ótimo rendimento da floresta é essencial o manejo adequado com otimização de espaço e priorização das árvores futuras, e assim terá incremento dos componentes dendrométricos

e morfométricos, contribuindo para o crescimento sustentável da produção e recursos do ambiente (RICKEN, 2014).

A análise de correlação de Pearson (r) entre as variáveis morfométricas para *Calophylum brasiliense* Cambess (Tabela 4) apresentou valor significativo positivo para DC com APC, FC e IS, ou seja, quanto maior o DC maior estes valores, sendo esse resultado esperado, uma vez que existe uma autocorrelação entre elas devido a dependência entre as variáveis. As maiores correlações entre os índices morfométricos são para as variáveis de copa com grau de esbeltez, sendo uma característica que favorece o povoamento, visto que conforme o aumento do índice de abrangência e diminuição do índice de saliência e grau de esbeltez, consequentemente o incremento em diâmetro e copa são favorecidos.

Índice	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
IGHD	0,07	2,49	11,78	2,27	91,16
N	36.10	360.79	11548.66	758.72	210,29
IGHH	0,19	1,22	3,06	0,38	31,15
IL	0,18	0,84	5,41	0,53	63,10
IH	0,003	0,65	9,02	0,96	147,69
RHL	1,03	5,80	93,00	6,59	113,62
BAL	1,20	22,89	150,34	28,66	125,21

IGHD: índice de Glover e Hool baseado no diâmetro; IHDH: índice de Glover e Hool baseado na altura; IL:índice de Lorimer; IH: índice de Heygi; RHL: relação altura/distância; BAL: Basal Area of Larger Trees. N: número de árvores por hectare (N. ha^{-1})

Tabela 4: Índices de competição calculados para *Calophylum brasiliense* Cambess

Já para DAP com GE, PC, APC, FC, IA e IS apresentou correlação significativa, moderada e negativa indicando que quanto maior o DAP, a tendência é diminuir o valor destes índices (tabela 5). Resultado semelhante foi encontrado na correlação realizada por Silva et al. (2017) (-0,82) e Klein et al. (2017) (-0,82) quando estudaram *Araucaria angustifólia* no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, respectivamente. A diminuição do grau de esbeltez com o aumento do DAP, apresentando uma correlação negativa, também foi observada por Condé et al. (2013) para árvores de plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* e por Durlo (2001) para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. em floresta secundária da encosta Sul do planalto sul-rio-grandense. Ainda Román et al., (2009) também observaram estas características para árvores de *Cordia trichotoma* (louro-pardo), em uma formação induzida, no município de Santa Maria, RS.

	DAP	GE	DC	PC	APC	FC	IA
GE	-0.536*						
DC	0.557ns	-0.333*					
PC	-0.264*	0.137 ns	0.591 ns				
APC	-0.105*	0.064 ns	0.019*	0.119 ns			
FC	-0.603*	0.403 ns	0.051*	0.800 ns	0.115 ns		
IA	-0.383*	0.202 ns	0.383 ns	0.898 ns	0.133 ns	0.840 ns	
IS	-0.603*	0.403 ns	0.051*	0.800 ns	0.115 ns	1.000 ns	0.840 ns

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); DC: diâmetro de copa (m); CC: comprimento de copa (m); APC: área de projeção de copa (m²); PC: percentagem de copa (%); FC: formal de copa; GE: grau de esbeltez; IA: índice de abrangência; IS: índice de saliência

Tabela 5: Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis morfométricas de *Calophylum brasiliense* Cambess.

Os índices de competição, IL, RHL, N e IH, IGHD e IGHH obtiveram correlação negativa com o DAP, ou seja, quanto menor esses índices, mais a árvore central está perto das concorrentes, o que demonstra que os índices expressam a competitividade, que uma árvore está submetida. Quanto maiores os valores destes índices, menor o DAP das árvores. Também existe correlação negativa entre o índice de BAL e IGHD, IGHH cujo sinal negativo indica que quanto maior a concorrência, menor é o crescimento, sendo que os índices de competição dependentes da distância apresentaram maiores correlações negativas com a variável DAP. Quanto menor os valores desses índices, maior o diâmetro da árvore. Isso porque, quanto menor o índice de BAL, menor é a concorrência sob a qual a árvore está submetida, e consequentemente, apresenta maior diâmetro.

Existe correlação positiva somente entre N com IGHH indicando que quanto maior a densidade, maior é a correlação altura/distância e mais a árvore central está livre das concorrentes, ou seja, menor é a competição sofrida (Tabela 6).

	DAP	IGHD	IGHH	IL	IH	RHL	N
IGHD	-0.486*						
IGHH	-0.375*	0.334 ns					
IL	-0.786*	0.622 ns	0.422 ns				
IH	-0.404*	0.589 ns	0.311 ns	0.413 ns			
RHL	-0.181*	0.138 ns	-0.052*	0.105 ns	0.743 ns		
N	-0.092*	0.144 ns	0.025*	0.087 ns	0.211 ns	0.169ns	
BAL	0.199 ns	-0.091*	-0.007*	-0.136*	0.348 ns	0.712 ns	0.205 ns

IGHD: índice de Glover e Hool baseado no diâmetro; IHDH: índice de Glover e Hool baseado na altura; IL:índice de Lorimer; IH: índice de Heygi; RHL: relação altura/distância; BAL: Basal Area of Larger Trees; N: número de árvores por hectare (N. ha^{-1}). Nível de significância de 95%.

Tabela 6: Coeficientes de correlação de Pearson entre os índices de competição com *Calophylum brasiliense* Cambess.

4 I CONCLUSÃO

Existe associação entre o DAP e a competição, em que o crescimento em diâmetro possui relação com os índices de competição IL, RHL, N e IH, IGHD e IGHH. Quanto maior a competição, menor o crescimento, mostrando que a espécie é fortemente afetada pelas competidoras. O IL aumenta quando o número de competidores por unidade de área aumenta. Entre os índices independentes da distância o que tem maior correlação negativa é o IGHD, sendo o indicado para o estudo da correlação com o DAP.

O GE, PC, APC, FC, IA e IS (variáveis morfométricas) são influenciados negativamente pelo DAP e os índices APC, PC e IS são influenciados positivamente pelo DC, estes mostram-se aplicáveis como ferramenta auxiliar do manejo de *Calophylum brasiliense* Cambess por expressarem conformações e alterações das características naturais de crescimento das espécies valida.

O índice de saliência apresentou correlação inversa com o DAP apontou que, quanto maior a copa, menor o crescimento em DAP da espécie, e mostrou correlação positiva com o DC. Ou seja, árvores de *Calophylum brasiliense* Cambess com copa grande e pouca competição crescem menos, inferindo-se que o ajuste da densidade por meio de intervenções silviculturais pode resultar em maior crescimento.

REFERÊNCIAS

ASSMAN, E. **The Principles of Forest the Yield Study**. München: BLV, 1970. 490 p.

CIDRÃO, D.F. **Economia florestal: potencialidades do guanandi como economia florestal.** 2012. 184f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – UNIARA, Araraquara.

CONDÉ, T. M.; LIMA, M. L. M.; LIMA NETO, E. M.; TONINI, H. Morphometric of four species in agroforestry systems in the municipality of Porto Velho, Rondônia. **Revista Agroambiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 18-27, janeiro-abril, 2013.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A.G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequiânea. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 239-245, 2015.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* na Amazônia ocidental. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 1, p. 9-18, 2012.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. M.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. **Forest Management: to Sustain Ecological, Economic and Social Values.** New York: Macgrall-Hill, 2001. 4th. ed. 816 p.

DUFFECKY, M. D.; FOSSATI, L. C. Avaliação da adaptação de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (GUANANDI), família clusiaceae, no planalto norte catarinense. **Ágora: revista de divulgação científica**, v. 16, n. 2, p. 14-27, 2009.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

GLOVER, G. R.; HOOL, J. N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 275-282, 1979.

ISTCHUK, A. N.; DRANSKI, J. A.L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. D. M. Relações interdimensionais estimadas em povoamentos homogêneos de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. *e Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 401-407, 2016.

KLEIN, D. R.; HESS, A. F.; KREFTA, S. M.; VIEIRA FILHO, M. D. H.; CIARNOSCKI, L. D.; COSTA, E. A. Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 501-512, 2017.

McNAUGHTON, S.J., WOLF, L.L. **General Ecology**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1973. 710 p.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. G. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 95-105, 2010.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no planalto catarinense**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - UFSC, Lages. 105 f.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

ROVEDA, M.; DALGALLO, B.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MULLER, C. S. Morfometria de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Nacional de São Francisco de Paula-RS. In: 4° Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. **Anais** 4° Congresso Florestal Paranaense, 2013.

SANTOS, A. T. **Analise de crescimento e simulação de manejo de um plantio de *Ocotea porosa*.** 2012. 93 f. Dissertação (mestrado em engenharia floresta) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. UFSM, FACOS, 2008. 566p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequiâneas heterogêneas.** UFSM, v. 195, 2000. 195p.

SILVA, F. A.; OLIVEIRA FORTES, F.; RIVA, D.; SCHORR, L. P. B. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na região Norte do Rio Grande do Sul. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 143-146, 2017.

SILVEIRA, B. D.; FLORIANO, E. P.; NAKAJIMA, N. Y.; HOSOKAWA, R. T.; ROSOT, N. C.; GRACIOLI, C. R. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia claussenii* em um fragmento de Floresta Semidecidual, RS. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 373-382, 2014.

VANCLAY, J. K. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. **School of Environmental Science and Management Papers**, p. 537, 1994.

WEST, P. W. **Tree and forest measurement**. Berlim, 2. ed., 2009, 190 p.

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance-independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, n. 1-3, p. 1-11, 1996.

CAPÍTULO 9

MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS FIBRAS DEPSEUDOCAULE DE BANANEIRA E SISAL POR TRATAMENTO ALCALINO

Data de aceite: 01/04/2021

Elizeth Neves Cardoso Soares
Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Lavras, MG – Brasil
http://lattes.cnpq.br/7148406311695887

José Benedito Guimarães Junior
Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Lavras, MG – Brasil
http://lattes.cnpq.br/5497377793349287

RESUMO: As fibras vegetais são higroscópicas e esta característica se apresenta como um dos principais desafios que precisa ser atenuado devido ao processo de degradação que as fibras sofre no interior das matrizes cimentícias. Objetivou-se, nesta pesquisa, a aplicação do tratamento alcalino NaOH em diferentes níveis para melhorias nas propriedades. O tratamento alcalino nas fibras de pseudocaule de banana (FPB) e sisal (FS) foram aplicados em diferentes teores 2%, 6% e 12% e tempos reacionais e sua eficiência foi avaliada pelos ensaios de absorção de água por imersão e densidade básica. Quando mercerizadas, as fibras FS e FPB apresentaram absorções respectivamente de 59% e 102% e a densidade básica inferiores a 0,314g/cm3 e 0,099g/cm3.
PALAVRAS - CHAVE: Tratamento das fibras, Propriedades, pseudocaule de banana, sisal.

ABSTRACT: Vegetable fibers are hygroscopic and this feature presents itself as one of the main problems that needs to be mitigated due to the degradation process that the fibers undergo inside cementitious matrices. The objective of this research was to apply the alkaline NaOH treatment at different levels to improve fiber properties. The alkaline treatment on the sisal (FS) and banana pseudostem fibers (FPB) was applied at different levels 2%, ¨5 e 12% and reaction times and its efficiency was evaluated by water absorption tests by immersion and basic density. When mercerized, the fibers FS and FPB showed absorptions respectively of 59% and 102% and the basic density less than 0,314g/cm3 e 0,099g/cm3.
KEYWORDS: Fiber treatment, Property, banana pseudostem, sisal.

1 I INTRODUÇÃO

A inserção fibras vegetais em materiais cimentícios exige uma compatibilidade considerável. As fibras vegetais são higroscópicas e esta característica se apresenta como um dos principais problemas que precisa ser atenuado devido ao processo de degradação que as fibras sofre no interior das matrizes cimentícias (SILVA et al., 2020).

A maior parte das fibras vegetais utilizadas como reforço em cimento são importantes para dispersão na produção do fibrocimento (BENTCHIKOU et al., 2012). As lignocelulósicas representam grande oportunidade, pois são

aproveitadas na produção de fibrocimento, devido a serem fortes como as fibras sintéticas, rentáveis e renováveis.

Os tratamentos químicos podem diminuir os grupos hidroxilas presentes na fase amorfa e remover as coberturas de lignina e hemicelulose da superfície da fibra e expor a estrutura de celulose para reagir com materiais ligantes (KABIR et al., 2013). Além de ajuda a melhorar a interação interfacial entre a fibra e a matriz através da remoção de hemicelulose, lignina, cera e outras impurezas (IBRAHIM et al., 2016).

Desta forma, este trabalho objetivou-se a aplicação do tratamento alcalino com soluções de NaOH em diferentes níveis para melhorias nas propriedades das fibras. O tratamento alcalino nas fibras de pseudocaule de banana e sisal foram aplicados em diferentes teores 2%, 6%, e 12% e tempos reacionais e sua eficiência foi avaliada pelos ensaios de absorção de água por imersão e densidade básica.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção das fibras e Pré-tratamento das fibras

A fibra de bananeira foi obtida pelo processo de desfibrilação do pseudocaule (*Musa sp.*). A fibra extraída foi lavada em água corrente para retirada de excessos orgânicos e secas naturalmente ao sol por um período de 48 h. O pseudocaule de bananeira foram cortadas manualmente em 10mm de comprimento. Em seguida essas partículas foram secas em estufa a 60°C por um período de 24 h, para a realização do tratamento químico.

As fibras de sisal foram fornecidas pelo departamento UEPAM - UFLA, Brasil. As fibras foram lavadas com água corrente para retirada de excessos orgânicos e secadas ao sol por um período de 48 h. Posteriormente, as fibras foram escovadas e cortadas em tamanhos aproximados de 10mm de comprimento.

As fibras pseudocaule de bananeira e sisal foram imersas em hidróxido de sódio (NaOH) à 2%, 6% e 12% por 6h em temperatura ambiente. Depois disso as fibras foram lavadas com água corrente. As lavagens finais foram realizadas com água destilada até a neutralidade (pH =7), para remover o excesso de NaOH presente nas fibras, até que essa água não indicasse mais nenhuma reação de alcalinidade. Em seguida as fibras foram levadas à estufa a 60°C por 24 h, e após secas foram armazenadas em dessecador (FERNANDES; REIS, 2012).

A Tabela 1 apresenta a nomenclatura básica para os tratamentos das fibras de pseudocaule de bananeira e sisal. Para garantir melhor efetividade no tratamento com o hdiroxido de sódio (NaOH) algumas condições devem ser levadas em consideração como a concentração, tempo e temperatura da solução (BARRETO et al., 2011).

Fibras	Tempo de exposição	Temperatura	Concentração (NaOH)	Nomenclatura
Sisal			In natura	FS0 e FPB0
Pseudocaule de bananeira	6 horas	23°C	Tratadas	FS2, FS6 e F12
			2%, 6% e 12%	FPB2, FPB6 e FPB12

FPB – Fibra de Pseudocaule de bananeira/ FS - Fibra de sisal

Tabela 1 – Tabela de procedimento de tratamento químico das fibras com(NaOH)

2.2 Absorção de água por imersão

Para determinação da absorção de água em fibras o ensaio foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Lopes et al (2011), as fibras de sisal e pseudocaule de bananeira in natura e com tratamentos foram previamente secas em estufa a 60°C por 24h, resfriadas em dessecador. As amostras foram pesadas e submersas em recipientes com água destilada. A conferência da capacidade de absorção foi realizada após os tempos 0,5, 2 e 24h do início do teste. Nestes momentos as fibras foram retiradas de água, secas superficialmente com papel absorvente e em seguida pesadas. Os resultados foram determinados conforme a equação 1:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100$$

Em que:

M_0 - Massa seca inicial, g

M_1 - Massa após imersão em água, g

2.3 Densidade básica

A metodologia desenvolvida para o ensaio de densidade básica segue como realizado por Guimarães et al (2014). Para o procedimento de determinação da densidade básica, as fibras foram depositadas em béqueres com água para a saturação, e posteriormente, foram coadas em uma peneira para retirada do excesso de água. Em sequência, as fibras foram imersas em uma proveta contendo 175ml de água destilada. Após efetuada a leitura do volume de água deslocada, o material foi retirado da proveta e colocado em placas Petri, para secagem completa em estufa, a 105°C por 24 horas até que atingissem massa constante, obtendo assim a sua massa seca. A densidade básica do material foi determinada de acordo com a equação 2:

$$D_b = (M_s / V_S)$$

Em que:

D_b – densidade básica, (g /cm^3)M_S – massa seca, (g)

V_S = volume saturado (cm^3)

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando se comparam os valores de absorção obtidos para as fibras mercerizadas e em relação as fibras in natura (Tabela 2) observa-se que o tratamento de mercerização em todos os níveis estudados, teve efeito inibidor na hidrofilicidade das fibras. As fibras de sisal e pseudocaule de bananeira no seu estado natural apresentaram uma absorção de água, de 106% e 286%, quando imersa por 2h e entre 87% e 365%, após 24 h.

Tratamento	Absorção de água (%) Tempo de imersão (h)		
	1/2	2	24
FS0	124	106	87
FS2	90	71	85
FS6	72	69	81
FS12	65	82	76
FPB0	311	286	365
FPB2	209	249	229
FPB6	187	248	303
FPB12	155	229	226

Tabela 2 – Absorção de água das fibras de pseudocaule de bananeira e sisaltratadas e In natura

A fibra sisal e pseudocaule de bananeira tratada (Tabela 2) com 2% de NaOH perdeu 59% e 102% de massa após o tratamento. A fibra tratada com 6% de NaOH perdeu 34%e 124% a fibra tratada com 12% de NaOH perdeu 52% e 156% de massa. Observa-se uma maior perda de massa com o aumento da concentração da solução alcalina de NaOH no tratamento da FPB. As fibras de pseudocaule de bananeira possuem maior capacidade de absorção de água. Entre as fibras naturais, tem uma tendência de absorção de água adicional relativamente maior (RAMESH et al., 2017).

Observa-se (Tabela 3) que o tratamento alcalino (NaOH) realizado nas fibras apresentaram valores inferiores de densidades básicas tanto paras as fibras de sisal e pseudocaule de bananeiras. Savastano Junior e Pimentel (2000) encontrou para as fibras de fibra de pseudocaule de bananeira densidade básica, 0,170 g/cm^3, isso pode estar atribuída a variabilidade na espécie e a fatores ambientais ou genéticos e à idade dos indivíduos.

Fibras	Tratamento	Densidade básica
Sisal	FS0, FS2, FS6 e F12	0,314; 0,419; 0,315 e 0,113
Pseudocaule de bananeira	FPB0, FPB2, FPB6 e FPB12	0,07; 0,080; 0,093 e 0,099

Tabela 3 – Tabela de densidade básica (g/cm^3)

4 I CONCLUSÃO

Os ensaios de absorção de água por imersão e densidade básica foram fundamentais para avaliação das propriedades físicas das fibras que passaram por tratamento. Nesta pesquisa foi possível observar a baixa densidade das fibras estudadas após tratamento de NaOH. As fibras de pseudocaule de bananeira tratada apresentaram resultados poucos significativos e absorveu água como as fibras não tratadas.

AGRADECIMENTOS

À Diretora Débora da Faculdade Pitágoras – Divinópolis por disponibilizar os laboratórios e equipamentos da instituição para esta pesquisa e o Departamento de Engenharia de Biomateriais.

REFERÊNCIAS

Barreto, A. C. H.; Rosa, D. S.; Fechine, P. B. A.; Mazzetto, S. E. (2011) Properties of sisal fibers treated by alkali solution and their application into cardanol-based biocomposites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**. v. 42, p.492–500.

Bentchikou, M., Guidoum, A., Scrivener, K., Silhadi, K., Hanini, S (2012) Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix. **Construction and Building Materials**, v. 34, n. 1, p. 451–456.

Fernandes, EM, Mano, JF, Reis RL (2013) Hybrid cork-polymer composites containing sisal fibre: morphology, effect of the fibre treatment on the mechanical properties andtensile failure prediction. **Compos Struct.** v. 105 p.153–162.

Guimarães, B. M. R. ; Bufalino, L. ; Guimaraes Junior, J. B. ; Mendes, R. F. ; Mendes, L. M. ; Tonoli, G. H.(2014) Chemical Treatment Of Banana Tree Pseudostem Particles Aiming The Production Of Particleboards. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 38, p. 43-49.

Ibrahim NA, Hadithon KA, Abdan K. (2010) Effect of fiber treatment on mechanical properties of kenaf fiber–ecoflex composites. **J Reinf Plast Compos**. v. 29, n. 14, p.2192–2198.

Kabir, M. M. Wang, H. K. Lau, T. Cardona, F. (2013) Chemical treatments on plant- based natural fibre reinforced polymer composites: an overview. **Composites PartB: Engineering**, vol. 43, no. 7, p. 2883–2892.

Lopes, F., Araújo, G. T., Luna, S., Nascimento, J, Silva, V. R. (2011) Modificação das propriedades das fibras de curauá por acetilação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.316–321.

Ramesh M, Logesh R, Manikandan M, Kumar NS, Pratap DV (2017) Mechanical and water intake properties of banana carbon hybrid fiber reinforced polymer composites.**Mater Res**, v. 20, n.2, p.365–376.

Savastano, J, H., PIMENTEL, L.L. (2000) Viabilidade do aproveitamento de resíduosde fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.4, n.1, p.103-110.

Silva, D., Scatolino, M., Pereira, T., Vilela, A., Eugenio, T., Martins, M., Mendes, R., Bufalino, Lina., Tonoli, G., M, L. (2020) Influence of thermal treatment of eucalyptus fibers on the physical-mechanical properties of extruded fiber-cement composites. **Materials Today: Proceedings** xxx (xxxx) xxx.

CAPÍTULO 10

PRODUÇÃO DE PAINÉIS MDP COM DIFERENTES TIPOS DE PARTÍCULAS LIGNOCELULOSICAS

Data de aceite: 01/04/2021

Erick Chagas Mustefaga
http://lattes.cnpq.br/6720938323810541

Fernando Rusch
http://lattes.cnpq.br/8251233167383077

Éverton Hillig
http://lattes.cnpq.br/5240619272740210

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas de média densidade (MDP) produzidos com madeira de *Pinus taeda* e partículas de resíduos do beneficiamento da *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (palitos de Erva-mate) e dos colmos de *Phillostachys aurea*, materiais utilizados puros ou em misturas, colados com Uréia-formaldeído. Para a confecção dos painéis, foi estabelecida densidade nominal de 0,75 g cm^{-3}, pressão específica de 40 kgf/cm², temperatura de 140 °C e tempo de prensagem de 10 min. Para avaliar a qualidade dos painéis, foram realizados os ensaios físico-mecânicos de massa específica aparente; absorção d'água; inchamento em espessura; teor de umidade, flexão estática, ligação interna e dureza. Constatou-se que os materiais obtidos da erva-mate e do bambu podem ser usados na produção de MDP quando em mistura com madeira de pinus.

PALAVRAS - CHAVE: Pinus, Bambu, Erva-mate.

ABSTACT: This work aimed to evaluate the physical and mechanical properties of medium density particle boards (MDP) produced with Pinus taeda wood and waste from Ilex paraguariensis A. St. Hil. (Yerba Mate sticks) and the stalks of Phillostachys aurea, materials used neat or in mixtures, bonded with Urea-formaldehyde. For making the panels, a nominal density of 0.75 g cm^{-3} was established, specific pressure of 40 kgf / cm², temperature of 140 ° C and pressing time of 10 min. To assess the quality of the panels, physical-mechanical tests of apparent specific mass were performed; water absorption; thick swelling; moisture content, static bending, internal bonding and hardness. It was found that the materials obtained from yerba mate and bamboo can be used in the production of MDP when mixed with pine wood.

KEYWORDS: Pinus, Bamboo, Yerba mate.

1 | INTRODUÇÃO

O mercado de painéis de madeira reconstituída encontra-se em expansão no mundo. A produção mundial desses painéis chegou a 388 milhões de m³, para o ano de 2015, um crescimento de aproximadamente 5%, com relação ao anterior. Destacam-se os painéis de aglomerado, cuja produção, no mesmo período foi de 227 milhões de m³, atingindo aproximadamente 3% de crescimento (FAO, 2015). A indústria de painéis de madeira é de grande importância para a economia brasileira, sobretudo pela dinâmica de novas tecnologias

associada à geração de renda e emprego nos setores moveleiro e da construção civil (VIEIRA *et al*. 2012).

Os painéis de partículas de média densidade (MDP), caracterizam-se como painéis produzidos a partir de partículas de madeira distribuídas aleatoriamente, com a incorporação de um adesivo e aplicação de pressão e temperatura a fim de se obter um produto específico (MOSLEMI, 1974).

No Brasil, para a produção do MDP são utilizadas principalmente madeiras provenientes de florestas plantadas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus,* contudo, a utilização de outros materiais lignocelulósicos pode proporcionar a diminuição de custos sem deixar as atender os requisitos de qualidade. Na literatura, foram citados vários tipos de materiais alternativos com potencial para produção de MDP, dentre os quais: bagaço de cana (BUZO *et al*., 2019); casca de arroz (SOUZA *et al*., 2017), casca de amendoim (BARBIRATO, *et al*., 2014; CRAVO *et al*., 2015), casca de coco-verde (CRAVO *et al*., 2015), fibras de bananeira (GUIMARÃES, 2012), resíduos de erva-mate (DE SOUZA *et al*., 2019) e bambu (BELINI, *et al*., 2014; ALMEIDA *et al*., 2008; MELO *et al*., 2015).

Os bambus lenhosos ocorrem em latitudes de 51° N no Japão à 47° S na Argentina, e do nível do mar até 4000 m de altitude, basicamente em regiões tropicais, subtropicais e temperadas da Ásia, América, África e Oceania, sendo que a maior diversidade é encontrada no Sudeste Asiático e na América do Sul (PANDA, 2011; HAKEEM et al., 2015).

No Brasil, existem 232 espécies nativas de bambu, sendo que destas, 137 são espécies endêmicas, além de aproximadamente 20 espécies introduzidas. Para Chaowana (2013), a área total ocupada por bambus no mundo é de aproximadamente 36 milhões de hectares, o que representa cerca de 3% da área total de florestas. Na América Latina, os bambus ocupam mais de 10 milhões de hectares, ou 28% da área total de bambus, no mundo. Ocorrem 20 gêneros com mais de 400 espécies, contudo em menor número que na Ásia e em maior número do que na África (LONDOÑO, 2001; LOBOVIKOV et al., 2007). O Brasil apresenta a maior diversidade e o mais alto índice de florestas com endemismo de bambu em toda a América Latina, representando 32%, significando 137 espécies, sendo que os estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná, possuem a maior diversidade (LONDOÑO, 1999).

Os colmos de bambu possuem excelentes propriedades mecânicas, sendo que, as de maior interesse no campo da Engenharia Florestal são: resistência à tração, resistência à compressão (forças sempre paralelas às fibras), dureza e a resistência a variação dimensional. O desconhecimento das potencialidades do bambu é o principal fator responsável pela sua reduzida utilização. Apesar de ser conhecido milenarmente e até fazer parte da cultura de diferentes povos, a indústria de transformação do bambu começou seu desenvolvimento nas décadas 50 e 60 do século 20 no continente asiático, principalmente no Índia, China e Japão, se expandindo internacionalmente somente nas últimas décadas, especialmente devido ao aumento no preço da madeira resultante de sua

escassez (QISHENG, 2003).

O resíduo gerado durante o processo de beneficiamento da Erva Mate, que atualmente é utilizado para geração de energia através da queima em caldeiras, ou usado como cobertura morta para o solo dos ervais, pode se constituir em alternativa complementar para as partículas produzidas de madeira. Segundo o comunicado técnico 214 da Embrapa Florestas, “o resíduo de palitos de erva-mate apresentou potencial para utilização na produção de painéis reconstituídos” (GUIOTOKU et al. 2008). Para tanto, torna-se necessário desenvolver pesquisas para aprimorar a aplicação tecnológica deste resíduo, agregando valor aos subprodutos obtidos, ampliando o mercado para esta matéria-prima.

Em virtude do exposto, é de fundamental importância o desenvolvimento de pesquisas voltadas à utilização de materiais lignocelulósicos alternativos aos tradicionalmente utilizados na indústria de painéis reconstituídos (MELO *et al.*, 2015), proporcionando inovação tecnológica a partir de novos produtos, dentro de um contexto economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente sustentável.

Diante deste cenário, o objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas de média densidade (MDP) produzidos com madeira de *Pinus taeda*, resíduos do beneficiamento da *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (erva-mate) e do bambu *Phillostachys aurea* tanto confeccionados puros, como em diferentes composições de misturas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material e Delineamento Experimental

Foram utilizadas partículas da madeira de *Pinus taeda*, cedidas por empresa de painéis da região, além das obtidas de palitos de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Erva-mate) e de colmos do Bambu *Phillostachys aurea*. Os palitos de erva-mate são provenientes da empresa Baldo S.A. e o bambu foi coletado em bambuzal situado no município de Irati, no estado do Paraná, sendo que as partículas tipo *sliver*, recomendadas para produção dos painéis MDP, foram obtidas em moinho de martelos.

Os painéis foram produzidos em sete diferentes composições de mistura dos três materiais, e três repetições, totalizando no experimento vinte e um painéis (Tabela 1).

Painel	Tipo de Partícula		
	Pinus (%)	Bambu (%)	Erva-mate (%)
P1	100	-	-
P2	-	100	-
P3	-	-	100
P4	50	50	-
P5	-	50	50
P6	50	-	50
P7	33,33	33,33	33,33

Tabela 1 – Tipos de painéis produzidos

A confecção dos painéis foi realizada em laboratório com dimensões de 50x50x1,4 cm, comprimento, largura e espessura, e densidade nominal de 0,75 g/cm³.

2.2 Produção dos Painéis

Atendendo as especificações da ANSI (1993), as partículas foram classificadas em peneiras de 8, 12 e 16 mesh ou 2,36, 1,40 e 0,59 aberturas por mm, respectivamente. Foram utilizadas as partículas retidas na peneira de 12 mesh na confecção dos painéis e as partículas retidas nas peneiras de 8 e 16 mesh foram descartadas.

As partículas peneiradas foram levadas à estufa a temperatura de 60° C pelo tempo de 24 horas, até atingirem umidade de 5%. O adesivo utilizado para a colagem das partículas foi Uréia-formaldeído, com 65% de sólidos e na proporção de XX%. Foi utilizada parafina (1% sobre peso de partículas) para reduzir a higroscopicidade dos painéis e sulfato de amônio (2% sobre peso de adesivo) como catalisador para acelerar o tempo de cura do adesivo.

Após, foi realizada a montagem do colchão, que consistiu em distribuir uniformemente de forma manual a mistura (partículas + adesivo + parafina) em uma caixa formadora com dimensões de 50 x 50 cm. Em seguida o colchão passou pela pré-prensagem manual para fazer sua compactação e, por fim, este foi conduzido à prensa de pratos com aquecimento elétrico.

Os painéis foram prensados durante o tempo de 10 minutos, com pressão de 40 kgf/m² e temperatura de 140°. Após a prensagem, os painéis foram climatizados em ambiente com temperatura de 20º C e 65% de umidade relativa do ar.

2.3 Propriedades avaliadas e análise estatística

Foi realizado o esquadrejamento dos painéis, eliminando 2 cm de cada lado para realizar a confecção dos corpos de prova com as dimensões recomendadas pela norma ASTM D 1037 – 06a (2006), visando a realização dos ensaios físicos e mecânicos. Para avaliar a qualidade dos painéis produzidos, os corpos de prova foram submetidos aos

seguintes ensaios físicos: massa específica aparente; teor de umidade; absorção d'água; inchamento em espessura. Os ensaios mecânicos empregados foram: flexão estática, dureza e ligação interna. Para a execução dos ensaios mecânicos foi utilizada a máquina de ensaios EMIC DL 30000, acoplada a um computador contendo o software TESC específico para a obtenção dos resultados.

Os valores médios das propriedades físico-mecânicas dos painéis foram comparados com outras referências, com os valores mínimos exigidos pela norma ANSI A 208.1 (1993) e submetidos à análise estatística para verificação da influência da composição das partículas das diferentes espécies. Primeiramente foi testada a homogeneidade das variâncias. Satisfeita esta prerrogativa, os valores foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Havendo diferença significativa para a composição de espécies, suas médias foram submetidas ao teste de Tukey.

Foi também realizada a modelagem de misturas conforme modelo experimental denominado planejamento em rede centróide simplex, e que se utiliza dos sete tipos de painéis produzidos neste estudo.

O modelo mais simples para uma mistura é o modelo linear ou aditivo, o qual procura explicar por suas variáveis conhecidas o comportamento de uma propriedade associadas ao fenômeno. O qual, prediz o comportamento de qualquer mistura sem realiza-la. Em uma mistura de três componentes, pode-se ter, além deste, modelos quadráticos que consideram os efeitos das interações de dois componentes e modelos cúbicos que consideram os efeitos das interações dos três componentes. Os modelos utilizados nessa pesquisa são expressos nas seguintes equações de derivadas:

$$Yi = b1.X1 + b2.X2 + b3.X3$$

$$Yi = b1.X1 + b2.X2 + b3.X3 + b12.X1.X2 + b13.X1.X3 + b23.X2.X3$$

$$Yi = b1.X1 + b2.X2 + b3.X3 + b12.X1.X2 + b13.X1.X3 + b23.X2.X3 + b123.X1.X2.X3$$

Onde: Yi = Variável resposta; bi = Coeficientes; Xi = Proporção de cada espécie na mistura.

As equações obtidas pela modelagem de misturas foram utilizadas para estimar as propriedades físicas e mecânicas das misturas dos três tipos de materiais, visando verificar em quais proporções poderiam atender aos requisitos normativos da norma ANSI A 208.1 (1993).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades físicas dos painéis

Painéis	Composição	Densidade (g/cm³)	TU (%)	Inchamento em espessura		Absorção d´água	
				2h (%)	24h (%)	2h (%)	24h (%)
P1	Bambu	0,783 a	10,05 a	19,55 a	24,06 a	33,69 abc	50,90 a
P2	Erva-Mate	0,798 a	10,84 a	11,38 bc	14,94 b	37,60 ab	52,21 a
P3	Pinus	0,782 a	11,07 a	12,44 bc	20,26 ab	15,37 d	30,47 b
P4	Bambu/Erva	0,764 a	10,75 a	17,46 ab	18,93 ab	45,57 a	55,62 a
P5	Erva/Pinus	0,769 a	10,20 a	15,71 abc	18,65 ab	39,91 ab	57,90 a
P6	Bambu/Pinus	0,788 a	10,88 a	9,63 c	19,34 ab	23,37 cd	46,46 ab
P7	Pinus/Erva/ Bambu	0,795 a	11,10 a	11,24 bc	14,66 b	30,54 bc	46,32 ab

Notas: TU= Teor de umidade dos painéis; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. **Absorção d´água**

Tabela 2 – Valores médios das propriedades físicas dos painéis MDP produzidos com madeira de *Pinus taeda* e partículas de resíduos do beneficiamento da *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Erva-mate) e dos colmos de *Bambusa* sp.,

As médias do teor de umidade dos painéis variaram de 10,05% a 11,10%, mas não houve diferença estatística entre eles. Todos os tipos de painéis apresentaram teor de umidade de acordo com os padrões recomendados pela ABIPA (2013), que sugere valores entre 5% a 13%.

Os resultados para densidade variaram de 0,764 g/cm³ à 0,798 g/cm³, sendo caracterizados como painéis de média densidade, de acordo com ANSI (2009) que estabelecem intervalo de 0,64 à 0,80 g/cm³. A densidade do painel está relacionada com a taxa de compactação das partículas, dependendo, também, da umidade do colchão e de outros fatores. Não houve diferença estatística significativa entre os resultados.

A variação das médias dos resultados de absorção d'água foi de 15,37% a 45,57%, para o ensaio de 2h e 30,47% a 57,90% para o ensaio de 24h, sendo observado diferença estatística entre os resultados. Os painéis produzidos com Bambu apresentaram maior absorção de água.

Os resultados encontrados neste estudo para os painéis de pinus foram próximos aos encontrados por Souza et al. (2012), de 21,26% para duas horas e de 66,46 % para 24 horas, com densidade média de 0,62 g/cm³ painel.

Para Melo et al. (2015), o acréscimo das partículas de bambu nos painéis proporcionou um aumento na absorção de água. Fato este confirmado neste trabalho.

A média dos valores para inchamento em espessura dos ensaios de 2 e 24 horas imersos em água variaram de 9,03% a 19,55% e de 14,66 % a 24,06%, respectivamente, havendo diferença estatística entre os tipos de painéis. Todos os painel produzidos atenderam aos requisitos da ANSI (2009) que estabelece inchamento máximo de 40% para um período de 24 horas. Por outro lado, todos os painéis tiveram maior inchamento do que recomendado pela ABNT (2006) que estabelece 8% para 2 horas.

Souza et al. (2012) produziram painéis MDP com partículas de Pinus spp de origem laboratorial e obtiveram 7,74% de inchamento para 2 h e 29,29% para 24 h.

3.2 Propriedades mecânicas dos painéis

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios das propriedades mecânicas dos painéis produzidos. Verificou-se que o pior desempenho para o MOR foi observado para os painéis de bambu, enquanto para o MOE ocorreu nos painéis de Erva-Mate. A norma americana de comercialização ANSI A 208.1 (1993) estabelece para painéis de média densidade (0,60 a 0,85 g/cm³), o valor mínimo requerido de 11 MPa para o MOR e 1700 MPa para MOE.

Painéis	Composição	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Dureza (MPa)	Ligação Interna (MPa)
P1	Bambu	6,11 d	930,75 b	29,97 a	0,20 d
P2	Erva-Mate	8,08 cd	881,90 b	23,95 b	1,15 a
P3	Pinus	17,25 a	2135,31 a	33,01 a	0,69 bc
P4	Bambu/Erva	7,37 cd	944,94 b	28,70 ab	0,71 bc
P5	Erva/Pinus	14,84 ab	1821,16 a	27,72 ab	0,90 ab
P6	Bambu/Pinus	11,58 bc	1586,39 a	27,70 ab	0,32 cd
P7	Pinus/Erva/Bambu	12,84 ab	1597,47 a	31,34 a	0,82 ab

Notas: MOR = Módulo de ruptura em flexão estática; MOE = Módulo de elasticidade em flexão estática. Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 3 – Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis MDP produzidos com madeira de *Pinus taeda* e partículas de resíduos do beneficiamento da *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Erva-mate) e dos colmos de *Bambusa* sp.,

Verificou-se que foram atendidas as exigências da norma ANSI para o MOR em todos os painéis produzidos com partículas de pinus, pura ou em mistura com erva-mate e bambu. Os requisitos para o MOE foram atendidos somente pelos painéis produzidos com partículas de pinus, ou em sua mistura com partículas de erva-mate.

Os maiores valores médios de MOR, MOE e dureza verificados nos painéis produzidos exclusivamente com madeira de pinus, podem ser teoricamente atribuídos aos maiores

teores de celulose, em comparação aos que houve a adição do bambu (STANGERLIN et al., 2011) e erva-mate. Para Melo et al. (2015), esta condição química pode proporcionar um maior grau de polimerização e de cristalinidade, interferindo diretamente nas propriedades mecânicas. Além disso, o teor de extrativo do pinus é inferior ao verificado na erva-mate (CARVALHO et al., 2015) e do bambu (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2013).

Neste estudo, os painéis produzidos com partículas de pinus em sua composição apresentaram MOE e MOR superiores aos 1.886,61 e 12,03 MPA do estudo desenvolvido por Iwakiri et al. (2010), em painéis de Pinus taeda com 8% de uréia-formaldeído e densidade de 0,68 g/cm^3. Essa diferença pode ser explicada devido à maior densidade dos painéis, pois Saldanha e Iwakiri (2009) relatam que exerce influência direta nestas propriedades.

Melo et al. (2015), avaliando as propriedades de painéis produzidos com diferentes percentuais de partículas de bambu em composição com as de Eucalipto, concluíram que o acréscimo de bambu nos painéis proporcionou redução da resistência a flexão estática (MOR) até o percentual de 50%.

Para Dureza Janka, todos os painéis confeccionados atenderam ao requisito mínimo exigido pela Norma ANSI A208.1-93, de 2182 N (ou 21,82 MPa). Carvalho et al. (2015), constataram o mesmo para painéis puros e misturados, confeccionados com erva-mate ou pinus e mistura igualitária destas espécies.

A norma ANSI A208.1 (1999) estabelece valores mínimos de adesão interna para um painel de partículas de média densidade de 0,40 Mpa, valor somente não alcançado pelos painéis produzidos com bambu puro e mistura de bambu e pinus. O maior valor obtido de ligação interna foi para os painéis produzidos com erva-mate.

Outro fator importante é a dificuldade de colagem do bambu, influenciada pelo tipo de adesivo e pressão utilizada (Carrasco et al. 2017). Porém, uma alternativa que parece reverter essas limitações é a adoção do processo termomecânico utilizado para madeira, devido à redução do volume dos vazios no material, por meio da compressão, promovendo um aumento de densidade" (RUSCH et al, 2019).

Conforme Rusch et al (2020) o bambu apresenta dificuldades de colagem devido a sua primeira camada ser uma casca rica em sílica e cera, sendo refratária aos adesivos (no caso de painéis laminados ou de partículas), que também dificulta o processo de cozimento e desfibramento (no caso de painéis de fibras), em ambos os casos, dificultando a união e compactação (densificação) das fibras. Enquanto, que a face interna apresenta os septos transversais (diafragma do bambu) que é rica em amido, sendo uma camada de material com propriedades mecânicas inferiores às do restante do material (NOGUEIRA, 2008). Desta forma, estas camadas de material podem dificultar, e até inviabilizar a união e compactação das partículas, lâminas ou fibras, em painéis.

Além disso, o bambu apresenta baixa retenção de adesivo, gerando um contato enfraquecido entre as partículas, devido a sua condição de higroscopicidade (menos polar em comparação à madeira) e seu pH mais elevado que a madeira. (RUSCH et al, 2020).

As variações geométricas dos materiais remetem à necessidade do estudo de suas propriedades ao nível dimensional do elemento gerado (tamanho final) e formato (disco, escama, lasca ou tiras, etc.), pelo fato de isso interferir nos processos industriais e nas características dos produtos finais.

As partículas dos palitos de erva-mate apresentam a forma de disco (JENSEN, 2011), sendo classificadas como escamas (arredondadas), provavelmente, influenciadas pela imaturidade do material, por apresentar idade entre 6 e 18 meses, sem a plenitude de seu processo de lignificação. As partículas de bambu foram classificadas como lascas, por se apresentarem num formato estreito e alongado. As partículas comerciais de pinus foram classificadas como pequenas tiras, com reduzida espessura, mas de maior largura e com comprimento reduzido.

O termo 'partícula' corresponde ao componente agregado de um painel aglomerado, podendo ser de madeira ou outro material lignocelulósico. "A geometria das partículas interfere na qualidade percebida dos produtos, portanto, quando se objetiva a agregação de valor para os resíduos vegetais, o estudo de suas dimensões é determinante para a padronização dos processos" (JORDÃO et al., 2017). Para Haselein et al. (2002), a geometria das partículas é um fator básico determinante das características dos painéis, influenciando suas propriedades físico-mecânicas.

3.3 Modelagem de Misturas

As equações obtidas pelo método de modelagem de misturas para estimar as propriedades dos painéis em função dos percentuais de mistura dos materiais lignocelulósicos utilizados, confirmam que houve interações entre as misturas para as propriedades avaliadas (Tabela 4). As variações que decorreram do processo manual de produção dos painéis em laboratório contribuíram para aumentar o coeficiente de variação para um mesmo tipo de painel e isso refletiu no coeficiente de determinação (R^2) da modelagem. Os menores coeficientes de determinação foram encontrados para Dureza e Inchamento 24 horas, que ficaram abaixo de 0,50.

Propriedade	Equação	S_{yx}	R^2 ajust
Módulo de Ruptura	MOR= 6,105*B + 8,077*E + 17,252*P + 8,710*E*P+ + 40,062*B*E*P	L= 1,065 Q= 5,216 C=37,508	0,722
Módulo de Elasticidade	MOE= 931*B + 882*E + 2135*P + 1250*E*P	L= 139 Q= 680	0,688
Dureza	D= 29,98*B + 23,96*E + 33,01*P + 15,17*B*P + +108,12*B*E*P	L= 1,94 Q= 9,50 C= 68,31	0,328
Ligação Interna	LI= 0,195*B + 1,148*E + 0,688*P – 0,475*B*P + 5,428*B*E*P	L= 0,086 Q= 0,423 C= 3,042	0,806

Inchamento 2 horas	IE2= 19,54*B + 11,38*E + 12,44*P + 8,004*B*E + 15,19*E*P – 25,46*B*P – 78,46*B*E*P	L= 1,49 Q= 7,28 C= 52,33	0,569
Inchamento 24 horas	IE24= 24,06*B + 14,94*E + 20,26*P – 11,28*B*P – 107,93*B*E*P	L= 1,74 Q= 8,52 C= 61,26	0,423
Absorção de água 2 horas	AA2= 33,68*B + 37,60*E + 15,37*P + 39,71*B*E + 53,68*E*P – 214,92*B*E*P	L= 2,85 Q= 13,95 C= 100,31	0,736
Absorção de água 24 horas	AA24= 50,91*B + 52,21*E + 30,48 * P + 66,25*E*P – 23,08*B*P – 257,69*B*E*P	L= 3,80 Q= 18,64 C= 134,02	0,549

Notas: B: porcentagem de bambu; E: porcentagem de erva-mate; P: Porcentagem de pinus; L: Erro padrão da estimativa linear (coeficientes do efeito principal); Q: Erro quadrático (coeficiente das misturas de dois componentes); Erro cúbico (coeficiente da mistura tripla); R^2: Coeficiente de determinação ajustado.

Tabela 4. Equações para estimativa das propriedades dos painéis em função da proporção de cada material na mistura

As equações obtidas para as propriedades físicas e mecânicas podem ser usadas para estimar as propriedades de um painel produzido a partir de qualquer proporção de mistura de dois ou dos três materiais utilizados neste estudo. Nas equações, foram descartados os coeficientes menores que o erro padrão de sua estimativa.

Verificou-se que a maioria das interações ocorridas entre as misturas concorreram para melhorar as propriedades dos painéis pois foram positivas para as propriedades mecânicas e negativas para as propriedades físicas. Exceções foram para LI na mistura de bambu e pinus; IE2 e AA2 nas misturas de bambu e erva-mate e de erva-mate e pinus; e AA24 na mistura de erva-mate e pinus. Na Tabela 5 são apresentadas as estimativas das propriedades referenciadas pela norma ANSI A208.1 (1993), dos painéis produzidos com a mistura equivalente dos três tipos de materiais, considerando a equação completa (com os coeficientes significativos das interações) e considerando a equação linear (que utiliza somente os coeficientes dos efeitos principais de cada material).

Propriedade	Referência	Estimativa equação completa	Estimativa equação linear
MOR	11 (MPa)	12,91 (MPa)	10,47 (MPa)
MOE	1700 (MPa)	1454 (MPa)	1315 (MPa)
LI	0,40 (MPa)	0,82 (MPa)	0,68 (MPa)
IE24	40 %	14,50 (%)	19,73 (%)

Tabela 5. Valores de referência e valores médios estimados das propriedades dos painéis produzidos com a mistura dos três materiais, obtidos pela modelagem considerando a equação completa e a equação linear.

Das quatro propriedades referenciadas pela norma ANSI A208.1 somente o MOE não foi alcançado pela mistura equivalente dos três materiais. Nessa propriedade, o painel puro de erva-mate apresentou a menor média, no entanto, quando em mistura com pinus, as partículas de erva-mate apresentaram uma interação positiva. Dessa forma, algumas composições triplas podem apresentar um MOE superior a 1700 MPa como, por exemplo, a mistura de bambu (20%) x erva-mate (20%) x pinus (60%) com estimativa para MOE de 1794 MPa, ou a mistura de 20% x 30% x 50% com estimativa em 1706 MPa.

4 I CONCLUSÕES

Os painéis puros produzidos com partículas de palitos de erva-mate e/ou de colmos de bambu apresentaram propriedades inferiores em comparação ao painel puro de partículas de pinus e, para algumas propriedades, inferiores aos requisitos normativos.

A adição de partículas de erva-mate e de bambu nas partículas de pinus, em determinadas proporções, possibilitou alcançar propriedades que atendem aos requisitos normativos, sendo possível estimar, com as equações obtidas pela modelagem de misturas, os percentuais mais adequados de cada material.

Os resultados obtidos indicaram que as partículas de palitos de erva-mate e de colmos de bambu apresentaram potencial para serem utilizados como matéria-prima para produção de painéis MDP, quando em mistura com partículas de madeira de pinus.

REFERÊNCIAS

ABIPA. Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Partículas de Madeira (MDP) e Painéis de Fibras de Madeira (MDF) - Relatório Setorial n. 7, **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA**, São Paulo, 2013. 23p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810**: Chapas de madeira aglomerada. 2006. 51 p.

ALMEIDA, A. L. A.; VALARELLI, I. D.; LIMA, F. L. S.; BATTISTELLE, R. A. G. Avaliação das propriedades físicas das chapas homogêneas compostas de bambu e pinus utilizando resina poliuretana a base de mamona. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008. Disponível em: <http://www.ebramem.expertu.com.br>. Acesso em: 12/04/2017.

ANSI-A-208.1. **Mat-formed wood particleboard**. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE: New York, 1993. 9p.

ASTM D 1037. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Material. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. West Conshohocken, Pa., Philadelphia. U.S.A, 2006. 30p.

Bamboo Phylogeny Group (BPG). An updated tribal and subtribal classification of the bamboos (Poaceae: Bambusoideae). **Bamboo Science & Culture**, 24(1), 1–10, 2012.

BARBIRATO, G.; FIORELLI, J.; BARRERO, N. G.; PALLONE, E. M. de J. A.; LAHR, F. A. R.; CRISTOFORO, A. L.; SAVASTANO JUNIOR, H. Painel aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira Itaúba. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 685-697, jul.-set., 2014. ISSN 0103-9954

BELINI, U. L., SAVASTANO JUNIOR, H., BARRERO, N. G., SARTORI, D. L., Leite, M. K., FIORELLi, J., & TOMAZELLO Filho, M. (2014). Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, *42*(103), 421-427.

BUZO, A. L. S. C., SUGAHARA, E. S., SILVA, S. A. D. M. D., MORALES, E. A. M., & AZAMBUJA, M. D. A. (2019). Painéis de pínus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil. **Ambiente Construído**, *19*(4), 183-193.

CARRASCO, E. V. M. et al. Resistência ao cisalhamento da ligação bambu-bambu: influência da pressão de colagem. **Matéria**, v. 22, e11914, 2017.

CARVALHO, A. G.; ANDRADE, B. G.; CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista** Árvore, Viçosa-MG, v.39, n.1, p.209-214, 2015.

CHAOWANA, P. Bamboo: An Alternative Raw Material for Wood and Wood-Based. **Journal of Materials Science Research**, Thailand, v. 2, n. 2, p. 90-102, 2013. Disponívelem: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jmsr/article/view/25691/15870>. Acessoem: 25/01/2016.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. de L.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C. de C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Painel aglomerado de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 721-730, jul.-set., 2015.

DE SOUZA, J. T., TALGATTi, M., da SILVEIRA, A. G., de MENEZES, W. M., HASELEIN, C. R., & SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas do MDP produzido com partículas de madeira de Ilex paraguariensis, Pinus elliottii e Eucalyptus grandis Mechanical properties of MDP produced with wood particles of Ilex paraguariensis, Pinus elliottii e Eucalyptus grandis. **Scientia Forestalis,** Piracicaba, v. 47, n. 122, p. 273-285, jun. 2019

FAO. Estatística de produtos florestais. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION**, 2015. Disponível em:<http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/es/>. Acesso em: 06 de abril. De 2017.

FAO. Global Forest Resources Assessment 2010. FAO FORESTRY PAPER 163. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**, Rome, Italy, 2010.

GUIMARÃES JUNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R.; PROTÁSIO, T. DE P.; COUTO, A. M. Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Rev. LatinAm. Metal. Mat**, v. 33, n. 1, p. 33-42, 2013.

GUIOTOKU, M.; LAZARIS, V.; DALLAGO, R. M.; MAGALHÃES, W. L. E. Utilização de Palitos de Erva-Mate na Produção de Painéis de Aglomerado. Comunicado técnico 214, **Embrapa Florestas**, Colombo, PR, dezembro de 2008. ISSN 1517-5030

HAKEEM, K. R. IBRAHIM, S.; IBRAHIM, F. H.; TOMBULOGLU, H. Bamboo biomass: various studies and potential applications for value-added products, p. 231-244. In: HAKEEM, K. R.; JAWAID, M.;

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, É.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeiras de diferentes dimensões. Ciência Florestal, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados. **Revista Acta Amazonica**, v. 40 n. 2, p. 303-308, 2010.

JENSEN, S. Modelagem e investigação experimental dos processos de secagem e extração de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). Tese (doutorado em Tecnologia de Alimentos), UFPR, Curitiba, 2011. 117f.

JORDÃO, D.; RAZERA, D.; TRIANOSKI, R. A geometria das partículas das fibras vegetais para aplicação no design de produtos. Estudos em Design, v. 25, n. 2, p. 50-65, 2017.

LOBOVIKOV, M.; PAUDEL, S.; PIAZZA, M.; REN, H.; WU, J. World bamboo resources: A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. **INBAR/FAO**, Rome, 2007. e-Book. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-a1243e.pdf>. Acessoem: 02/09/2015.

LONDOÑO, X. **Evaluation of bamboo resources in Latin America**. Summary of the final report of Project 96-8300-01-4. INBAR. Beijing, 2001.

MELO, R. R. de; STANGERLIN, D. M.; SOUSA, A. P. de; CADEMARTORI, P. H. G. de; SCHNEID, E. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p.35-42, jan, 2015.

MELO, R. R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p. 35-42, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120970

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illionis: Southern Illionis University, 1974. v. 2, 245 p.

NOGUEIRA, C. de L. Painel de bambu laminado colado estrutural. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. 92 f.

PEREIRA, M. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal6, 2007. e–Book. Disponível em: <http://www.canal6.com.br/ed/wp-content/download/Trecho_inicial _Bambu.pdf>. Acesso em: 16/07/2015.

QISHENG, Z. Characteristic and Prospects for Processing Approaches for Bamboo Resources. In: PROCEEDINGOF INTERNATIONAL WORKSHOP ON BAMBOO INDUSTRIAL UTILIZATIONS. **International Network for bamboo and Rattan - INBAR**, October, 2003.

RUSCH, F, MUSTEFAGA, EC, HILLIG, É, TREVISAN, R & TELEGINSKI, E. Physical properties of high density panels (HDP) from pine, bamboo and coparticipation of yerba mate. Research, Society and Development, 9(7): 1-18, e436974022, 2020. Doi: 10.33448/rsd-v9i7.4022

RUSCH, F.; HILLIG, É.; TREVISAN, R.; MUSTEFAGA, E. C.; CAMPOS, R. F. Propriedades físicas e mecânicas de hastes adultas de diferentes espécies de bambu: uma revisão. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 22549-22566 apr. 2020. Doi: 10.34117/bjdv6n4-426

RUSCH, F.; TREVISAN, R.; HILLIG, ÉVERTON; MUSTEFAGA, E. Propriedades físico-mecânicas de painéis de bambu laminado. Pesquisa Agropecuária Tropical (**Agricultural Research in the Tropics**), v. 49, p. e53714, 8 fev. 2019.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis osb de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 571-576, 2009.

SOUZA, J. T. D., MENEZES, W. M. D., HASELEIN, C. R., BALDIN, T., AZAMBUJA, R. D. R., & MORAIS, W. W. C. (2017). Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de casca de arroz e adesivo tanino-formaldeído. **Ciência Florestal**, *27*(3), 1003-1015.

SOUZA, K. B.; ALMEIDA, K. N. S.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; GUIMARÃES NETO, R. M. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de Pinus de origem industrial e laboratorial. Scientia Plena. Bom Jesus, v.8, p. 1-5, 2012.

STANGERLIN, D.M. et al. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, v.48, n.8, 1369-1374, 2011. Doi10.1590/S0103-84782011000800012.

VIEIRA, M. C.; BRITO, E. O.; GONÇALVES, F. G. Evolução econômica do painel compensado no Brasil e no mundo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 277-285, 2012.

VITAL, B. R.; WILSON, J. B. Efeito da forma geométrica dos flocos e partículas, da densidade das chapas e do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas das chapas de madeira aglomerada. Àrvore, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 179-187, 1980.

SOBRE A ORGANIZADORA

CRISTINA ALEDI FELSEMBURGH - Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2003), mestrado em Ciências de Florestas Tropicais pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2006), doutorado em Ecologia Aplicada pela Universidade de São Paulo (2009) e p**ós-**doutorado na Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Divisão de Funcionamento de Ecossistemas Tropicais (2016). Atua como professora da Universidade Federal do Oeste do Pará, no Instituto de Biodiversidade e Florestas desde 2010. Atualmente a organizadora tem se dedicado aos projetos voltados à área de Ecologia Aplicada. Contato: crisalefel@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

B

C

D

F

G

I

Empreendedorismo e Inovação na Engenharia Florestal 3

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2021

Empreendedorismo e Inovação na Engenharia Florestal 3

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2021